



מרצה : פרופסור אבישי מנדלבאום
מתרגלת : שמרית ממן

תאריך הבחינה : 01.10.2007

מס' סטודנט _____

שם _____

הנדסת מערכות שירות - 096324

מועד א' - סמסטר אביב תשס"ז 2007

- המבחן נמשך **שלוש** שעות. באחריותך להחזירו במועד.
- המבחן בחומר סגור, וללא מחשבון.
- המבחן כולל 29 עמודים, כולל עמוד זה.
- אלא אם נאמר אחרת, ניתן להשאיר תשובות מספריות ללא חישובן הסופי.
- כאשר נדרשים חישובים, ניתן לעגלם באופן שאינו פוגע בהבנת התשובה.
- מלאו את הפרטים הנדרשים בראש העמוד, בכתב ברור בבקשה.
- על התשובות יש לענות במקומות המיועדים, שאמורים להספיק: מלל מיותר יגרע ניקוד.
- יש לתת הסברים או הוכחות רק אם התבקשתם במפורש לעשות זאת.

הרצאות/תרגולים	מתוך 10 נקודות	שאלה 1	ניקוד:
תרגילי בית	מתוך 10 נקודות	שאלה 2	
יישום	מתוך 15 נקודות	שאלה 3	
תיאוריה	מתוך 10 נקודות	שאלה 4	
שאלת בונוס: פתרו שאלה זו רק אחרי שסיימתם את כל השאלות הנ"ל.		שאלה 5	

סה"כ _____ מתוך 45 נקודות

בהצלחה !

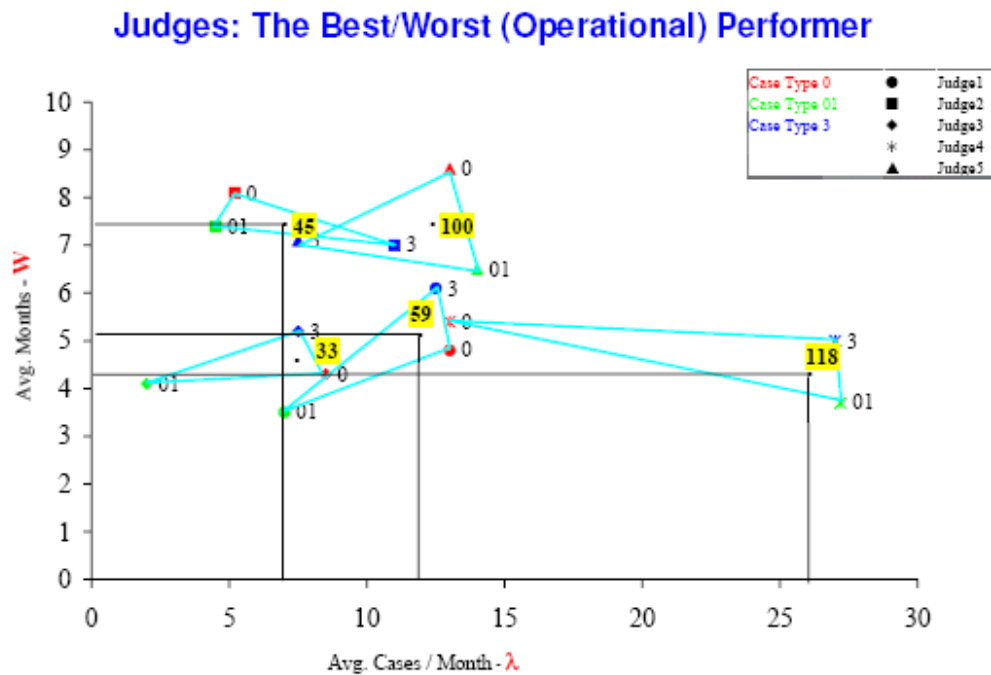
שאלה 1 הרצאות/תרגולים (10 נקודות)

חלק 1.

בכל אחת משלוש השאלות הבאות, בחרו את התשובה הנכונה (אחת מארבע האפשרויות).
הסבירו תשובתכם בקצרה במקום המיועד, אם תדרשו לכך.

1.1

גרף 1

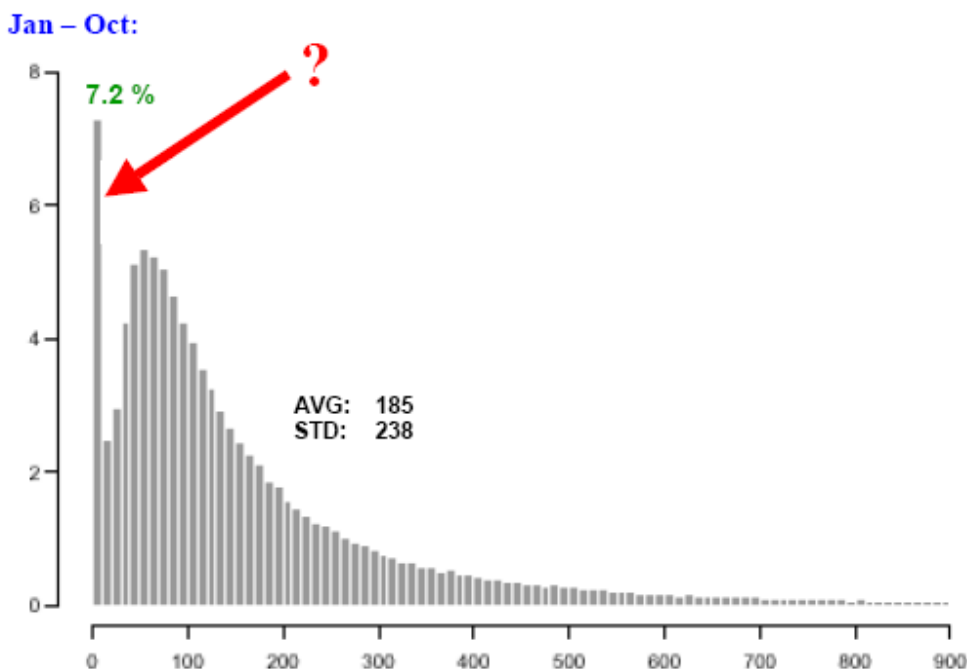


התרשים הנ"ל שהוצג בהרצאה מתאר את רמת הביצועים התפעוליים של כמה שופטים בבית הדין לעבודה. שטחי 3 המלבנים שאנו רואים בציור מתארים:

1. מספר תיקים ממוצע ששופט מסיים במהלך חודש.
2. מספר תיקים ממוצע שנמצאים בטיפול אצל שופט בעת ובעונה אחת.
3. זמן שהיה ממוצע של תיק במערכת.
4. מספר תיקים ממוצע ששופט פותח במהלך חודש.

תשובה + הסבר:

גרף 2



גרף 2 לעיל מתאר היסטוגרמה של משכי השירות במוקד שירות טלפוני בארץ. אנו רואים אחוז גדול יחסית של שיחות קצרות מאוד במוקד זה. מה הן סיבות פוטנציאליות של תופעה זו?

1. במוקד זה 7.2% מהלקוחות נוטשים את התור הטלפוני עקב חוסר סבלנות.
2. תמריץ המבוסס על מספר השיחות המטופלות גורם למוקדנים לנתק בתחילת השיחה כדי לשפר את "רמת ביצועיהם".
3. מוקדנים נמצאים תחת לחץ עבודה כבד ומנתקים מיד עם תחילת השיחה (ובטרם נוצר קשר דיבור בין המוקדן ללקוח) כדי לנוח.
4. גם 2 וגם 3 יכולים להיות סיבות פוטנציאליות לתופעה המתוארת.

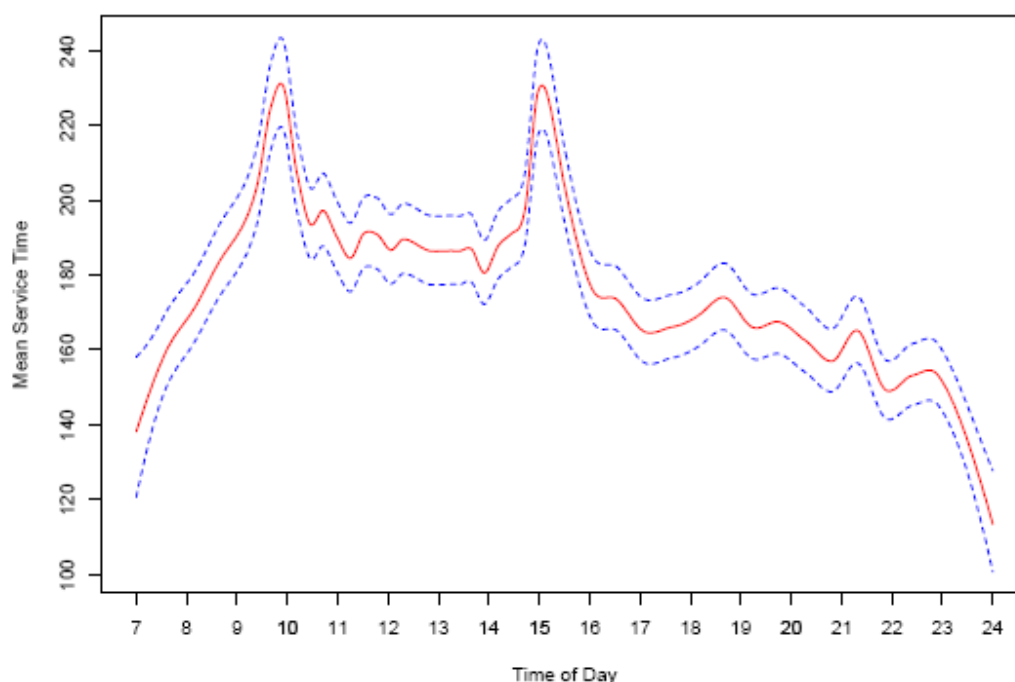
תשובה בלבד :

גרף 3 להלן מתאר משך שירות ממוצע במהלך יום עבודה אופייני במוקד מסוים, גרף 4 מתאר קצב מופע במהלך כזה יום עבודה וגרף 5 משווה בין סבלנות של לקוחות רגילים (Regular) ולקוחות VIP (Priority) באותו מוקד. תנו את ההסבר המלא ביותר לסיבה שבסביבת השעות 10:00 ו-15:00 מתרחשת עליה ברורה גם בקצב המופע וגם במשך השירות הממוצע.

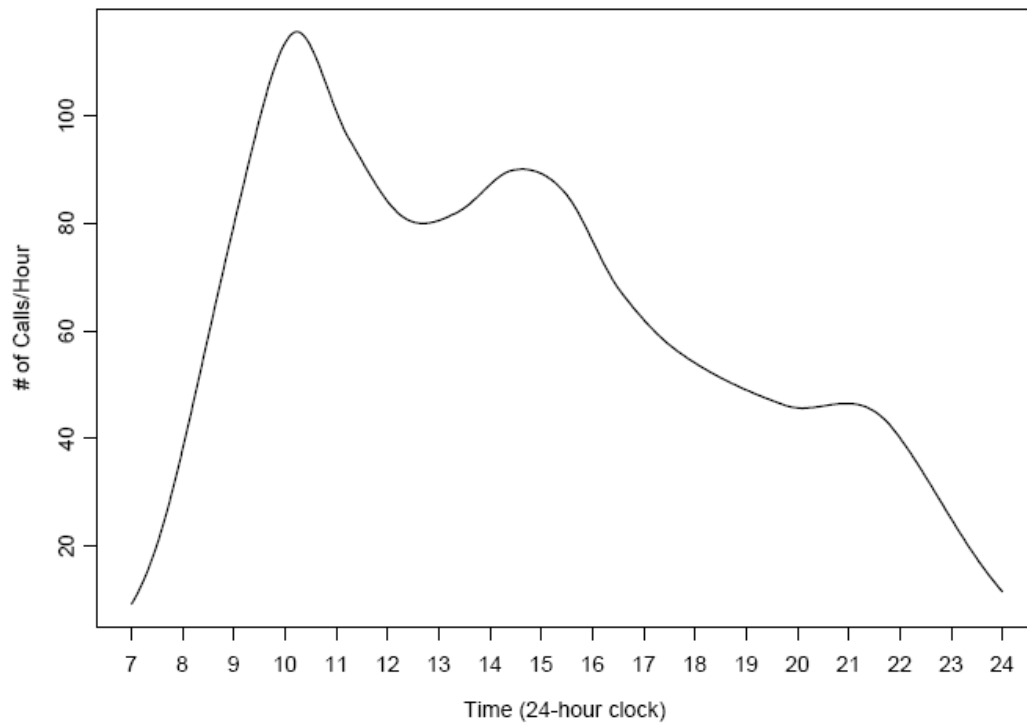
1. מכיוון שאלה שעות עמוסות, הלקוחות שמגיעים לשירות מבזבזים זמן בתלונות ולכן משך השירות מתארך.
2. מגרף 5 עולה כי לקוחות VIP הם גם לקוחות פחות סבלניים. סביר גם להניח שללקוחות VIP משך שירות יותר קצר. לכן, הלקוחות עם זמן השירות הארוך יותר הם אלה ששורדים וזמן השירות הממוצע מתארך.
3. מגרף 5 עולה כי לקוחות VIP הם גם לקוחות סבלניים יותר. סביר גם להניח שללקוחות VIP משך שירות יותר ארוך. לכן, הלקוחות עם זמן השירות הארוך יותר הם אלה ששורדים וזמן השירות הממוצע מתארך.
4. גם 1 וגם 3 יכולים להיות סיבות פוטנציאליות לתופעה המתוארת.

תשובה בלבד :

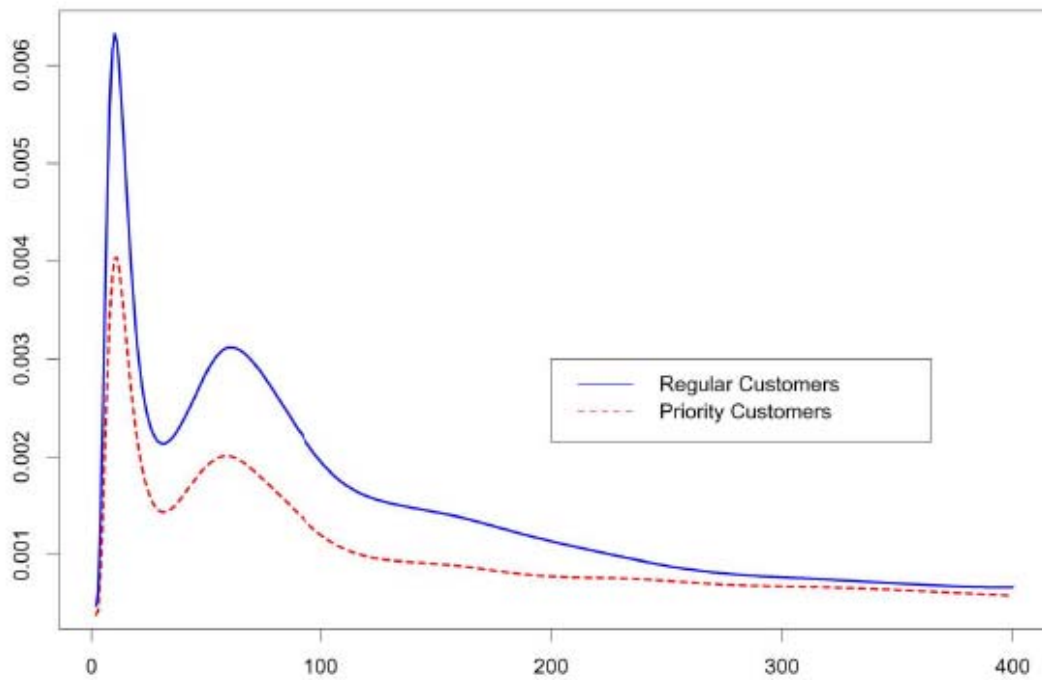
גרף 3



גרף 4



גרף 5



חלק 2. מערכת עם פעילויות עזר

נתבונן במערכת תורים עם פעילויות עזר (*ancillary activities*), אותה למדנו בתרגול. המערכת ניתנת לתיאור ע"י "קרוב משפחה" של מודל $M/M/N$, כאשר N - מספר השרתים - יכול להשתנות כתלות במספר הלקוחות בתור. בתחילת יום העבודה נמצא במערכת שרת יחיד. נגדיר את משתנה הבקרה J ע"י

$$J = \frac{\text{מספר הממתינים}}{\text{מספר השרתים}}$$

(כמובן, J משתנה עם מצב המערכת). נוקטים במדיניות הבאה: למערכת מוסיפים שרת נוסף כל פעם כאשר הערך J עולה על מספר מסוים K שנקבע מראש ($K=0,1,2,\dots, K < J$). בנוסף, שרת מוצא מהמערכת (מוחזר לפעילות עזר השונה משירות) אם מייד אחרי סיום השירות עם לקוח כלשהו הוא לא מוצא אף לקוח ממתין (התור ריק). כלומר, השרתים המתאספים ממשיכים לשרת כל עוד יש ממתינים בתור, וחוזרים לפעילויות העזר בזה אחרי זה אם התור ריק בסיום שירותם. נניח כי במערכת נמצא תמיד לפחות שרת אחד.

נניח שמופע הלקוחות למערכת הוא פואסוני עם קצב λ , ואילו משך השירות – אקספוננציאלי עם פרמטר μ . נסמן

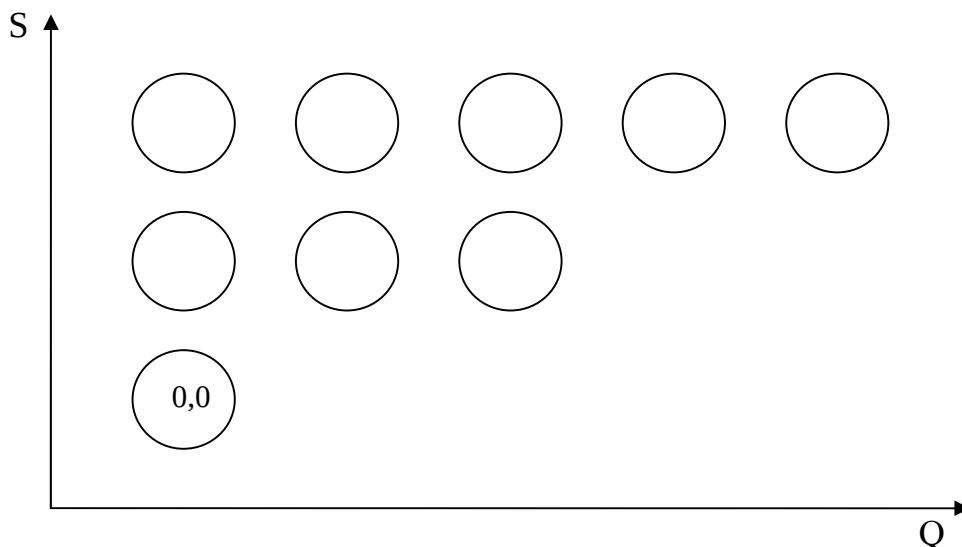
$$R = \frac{\lambda}{\mu}.$$

נגדיר תק"מ דו-ממדי (S, Q) , כאשר S מתאר את מספר הלקוחות הנמצאים בשירות ואילו Q מתאר את מספר הלקוחות

בתור. נסמן ב- $\pi_{s,q}$ את ערך ההתפלגות הסטציונרית של המערכת במצב (s, q) .

1.2.1 נניח $K = 2$. ציירו את דיאגרמת קצבי המעברים של התהליך (S, Q) . המשיכו את הדיאגרמה עד ל- $S = 2$ בלבד.

תשובה:



1.2.2 מהי ההסתברות שיהיה צורך בהוספת שרת כאשר מגיע לקוח למערכת? הביעו תשובתכם, כאן ובהמשך, בעזרת ה-

$$\pi_{s,q}$$

תשובה:

נתבונן בגרף המתאר את התלות של N - ממוצע השרתים במערכת - בערך של הסף K עבור ערכים שונים של R .

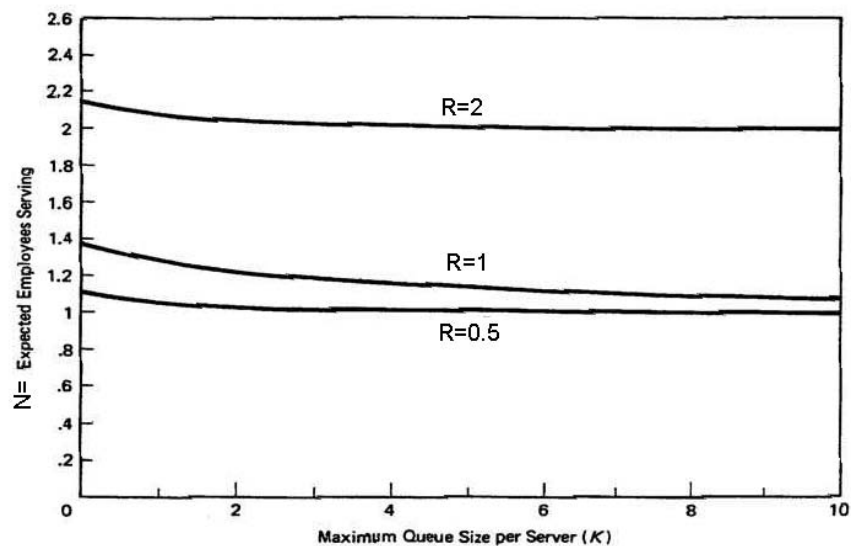


Figure 5.12 The expected number of employees serving declines as the maximum queue size per server increases. For $R > 1$, the limit is R . For $R \leq 1$, the limit is one.

1.2.3 כיצד ניתן להסביר את הערכים של N כאשר $K = 0$?

רמז: במצב סטציונרי, מספר הלקוחות X במערכת $M/M/\infty$ עם פרמטרים λ ו- μ מפולג פואסוניית עם פרמטר $R = \frac{\lambda}{\mu}$.

$$P(X = m) = \frac{e^{-R} R^m}{m!}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

תשובה:

שאלה 2 תרגילי בית (10 נקודות)

ניתן לתאר את תהליך הגעת ההזמנות לפיצה בפיצרייה מסוימת באמצעות תהליך פואסון עם קצב של 12 הזמנות בשעה. בפיצרייה מועסק מכין פיצות בודד, אשר עלות העסקתו הינה 36 ש"ח לשעה, המכין בממוצע פיצה אחת כל 3 דקות. זמן הכנת הפיצות מפולג מעריכית. לאחר הכנת הפיצה, היא מוכנסת לתנור בעל קיבולת של 10 פיצות, וזמן אפייתה הוא 12 דקות בדיוק. בפיצרייה צוות של 6 שליחים וזמן משלוח (הלוך ושוב) מפולג מעריכית עם ממוצע של 10 דקות. זמן נסיעה לכיוון אחד שווה למחצית זמן נסיעה הלוך ושוב, ונניח לפשטות כי גם זמן זה מפולג מעריכית. עלות העסקת שליח הינה 36 ש"ח לשעה. זמני הכנת הפיצות וזמני המשלוח ב"ת. הפיצרייה פועלת במדיניות לפיה היא מתחייבת לספק את הפיצה המוזמנת תוך 40 דקות מקבלת ההזמנה (תחילת הכנת הפיצה), ובמקרה של סטייה ממדיניות זו הלקוח מפוצה ע"י הוזלה של 8 ש"ח במחיר הפיצה.

2.1 שרטטו דיאגרמת זרימה לתהליך המתואר לעיל (Process Flow Diagram), החל מהגעת הזמנה ועד לשליחתה ללקוח. תארו כל תחנה באמצעות המודל המתמטי המתאים לה, תוך הסבר מתאים.

תשובה:

דיאגרמה:

תחנה 1:

הסבר:

תחנה 2:

הסבר:

תחנה 3:

הסבר:

2.2 איזו פעולה מהווה את צוואר הבקבוק בתהליך? הסבירו בדיוק ככל שתוכלו.

תשובה:

2.3 חשבו את ההסתברות כי לקוח יפוצה עקב איחור בהגעת פיצה.

לצורך החישוב, היעזרו בחומר המופיע בעמודים 10-12, הכולל: פלט של תוכנת ה-4CallCenter, נספח שהופיע בתרגיל הבית והעמודים הרלוונטיים שנלקחו מההרצאות. הסבירו כל שלב בחישוביכם. **אין צורך בחישובים מספריים- מספיק שימוש בנוסחאות הרלוונטיות והצבת הפרמטרים בהן.**

תשובה:

Input	60	00:00	Range	10:00	12	
Multi-Value			▼			
	Basic Interval (minutes)	Target Time to Answer	Number of Agents	Average Handling Time	Calls per Interval	%Answer within Target
Results						
1	60.0	00:00.0	3.0	10:00.0	12.0	55.6%
2	60.0	00:00.0	4.0	10:00.0	12.0	82.6%
3	60.0	00:00.0	5.0	10:00.0	12.0	94.0%
4	60.0	00:00.0	6.0	10:00.0	12.0	98.2%
5	60.0	00:00.0	7.0	10:00.0	12.0	99.5%
6	60.0	00:00.0	8.0	10:00.0	12.0	99.9%
7	60.0	00:00.0	9.0	10:00.0	12.0	100%
8	60.0	00:00.0	10.0	10:00.0	12.0	100%

Sum of two exponential random variables.

Assume that $X \sim \exp(\lambda_1)$, $Y \sim \exp(\lambda_2)$, X and Y are independent and $\lambda_1 \neq \lambda_2$. Then straightforward calculations provide us with the following cumulative distribution function of $X + Y$:

$$F(x) = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 x} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 x}.$$

Sum of three exponential random variables.

First scenario: Assume that $X \sim \exp(\lambda_1)$, $Y \sim \exp(\lambda_2)$, $Z \sim \exp(\lambda_3)$, X , Y and Z are independent and $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3$. Then the cumulative distribution function of $X + Y + Z$ is given by:

$$F(x) = 1 - \frac{\lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_1)} e^{-\lambda_1 x} - \frac{\lambda_1 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} e^{-\lambda_2 x} - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} e^{-\lambda_3 x}.$$

Second scenario: Assume that $X, Y \sim \exp(\lambda_1)$, $Z \sim \exp(\lambda_2)$, X , Y and Z are independent and $\lambda_1 \neq \lambda_2$. Then the cumulative distribution function of $X + Y + Z$ is given by:

$$F(x) = 1 + \left[\frac{x \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2 (\lambda_2 - 2\lambda_1)}{(\lambda_1 - \lambda_2)^2} \right] e^{-\lambda_1 x} - \frac{\lambda_1^2}{(\lambda_1 - \lambda_2)^2} e^{-\lambda_2 x}.$$

M/M/1: Sojourn Time

Sojourn time is **exponentially** distributed:

$$W \stackrel{d}{=} \exp\left(\text{mean} = \frac{1}{\mu(1-\rho)} = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\rho}{1-\rho}\right]\right).$$

Proof: By PASTA and the memoryless-property of Exponentials,

$$W \stackrel{d}{=} \sum_{i=1}^N X_i, \quad X_i \sim \exp(\mu) \text{ i.i.d.},$$

$N \triangleq L + 1 \stackrel{d}{=} \text{Geom}(1 - \rho)$ (from 1);
 N and $\{X_i\}$ are all independent.

Conclude by recalling: Geometric sum of iid Exponentials is Exponentially distributed. (The parameter is calculated via Wald.)

Aside: The latter property is essentially Poisson-Splitting. A self-contained proof can be give via *Moment generating functions*:

$$\begin{aligned} \phi_W(t) &\triangleq \mathbb{E}[\exp\{tW\}] = \mathbb{E}\left[\exp\left\{t \cdot \sum_{i=1}^N X_i\right\}\right] \\ &= \mathbb{E}\left[\mathbb{E}\left[\exp\left\{t \cdot \sum_{i=1}^N X_i\right\} \middle| N\right]\right] \\ &\quad (X_i \text{ independent with } \mathbb{E}[\exp\{tX_i\}] = \frac{\mu}{\mu-t}) \\ &= \mathbb{E}\left[\left(\frac{\mu}{\mu-t}\right)^N\right] = \sum_{k=1}^{\infty} (1-\rho)\rho^{k-1} \left(\frac{\mu}{\mu-t}\right)^k \\ &= \frac{\mu(1-\rho)}{\mu-t} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\mu\rho}{\mu-t}\right)^k = \frac{\mu(1-\rho)}{\mu(1-\rho)-t} \\ &= \phi_{\exp(\mu(1-\rho))}(t). \end{aligned}$$

M/M/n Queue: Properties

Erlang-C Formula (1917) for the Delay probability:

$$P\{W_q > 0\} \triangleq E_{2,n} = \sum_{i \geq n} \pi_i = \frac{R^n}{n!} \frac{1}{1 - \rho} \cdot \pi_0.$$

Erlang-C computation: via recursion, see Erlang-B below.

Erlang-C approximations: important later in course.

Number-in-queue:

$$P\{L_q = i\} = E_{2,n} \cdot (1 - \rho)\rho^i, \quad i > 0,$$

or

$$L_q = \begin{cases} 0 & \text{wp } 1 - E_{2,n} \\ \text{Geom}_{\geq 0}(1 - \rho) & \text{wp } E_{2,n} \end{cases}$$

Waiting time distribution:

$$\frac{W_q}{1/\mu} = \begin{cases} 0 & \text{wp } 1 - E_{2,n} \\ \text{Exp}\left(\text{mean} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{1-\rho}\right) & \text{wp } E_{2,n} \end{cases}$$

Compare with M/M/1!

Departure process: Poisson(λ) in steady-state.

Proof via reversibility, as with M/M/1.

2.4 תארו 3 קריטריונים תפעוליים שונים לפיהם ניתן לקבוע את מספר השליחים המינימלי הנדרש.

תשובה:

קריטריון 1:

קריטריון 2:

קריטריון 3:

שאלה 3 יישום (15 נקודות)

להלן נתון דו"ח ACD המתאר פעילות יומית של מוקד טלפוני בארץ. הדו"ח מתאר פעילות ממוצעת על פני 20 חצאי שעות. לצורך השאלות שלהלן, ניתן לתאר את המוקד כמערכת Erlang-A. **לנוחיותכם, הדו"ח מצורף גם בעמוד האחרון של הבחינה, כדי שתוכלו לתלוש עמוד זה ולהשתמש בו למענה על השאלות הבאות.**

Time	Arrivals	Served	% Abn	E(Wq)	E(Wq Wq>0)	% Wait=0	Service Time (sec)	No. of Agents	Number in Queue	Offered Load	% Wait>30
10:00	387	386	0.26	2.06	7.8	73.58	194.9	42.60	0.51	41.90	0.00
10:30	456	435	4.61	28.15	31.9	11.84	185.6	44.21	6.86	47.02	35.18
11:00	448	441	1.56	7.94	18.1	56.09	173.3	40.93	2.07	43.13	8.53
11:30	500	463	7.40	33.44	40.9	18.27	192.2	45.97	8.78	53.38	54.66
12:00	520	474	8.85	45.92	46.6	1.40	178.8	47.28	12.03	51.66	67.67
12:30	491	471	4.07	27.34	32.7	16.41	177.9	44.66	7.34	48.54	49.01
13:00	498	487	2.21	17.90	29.5	39.41	194.6	50.04	4.90	53.85	24.13
13:30	478	472	1.26		20.3	78.27	170.7	49.81			8.10
14:00	475	471	0.84	3.13	13.9	77.56	178.4	45.47	0.92	47.07	1.97
14:30	462	455	1.52	5.92	12.7	53.45	195.6	48.97	1.57	50.20	1.82
15:00	434	427	1.61	7.00	15.7	55.34	185.4	43.48	1.72	44.70	4.09
15:30	403	389	3.47	14.71	30.7	52.13	207.8	43.03	3.33	46.52	23.18
16:00	400	400	0.00	0.28	5.8	95.26	166.8	39.95	0.16	37.07	0.00
16:30	432	417	3.47	21.03	37.5	43.92	186.5	41.34	5.04	44.77	29.57
17:00	489	473	3.27	14.68	30.0	51.09	199.5	60.23	4.09	54.20	21.30
17:30	478	465	2.72	20.09	34.6	41.94	194.2	49.72	5.29	51.56	32.97
18:00	439	437	0.46	2.73	27.0	89.91	168.9	43.52	0.82	41.18	2.19
18:30	573	539	5.93	33.22	44.3	25.10	209.0	57.14	10.21	66.54	52.08
19:00	418	416	0.48	0.18	5.7	96.87	192.1	56.93	0.14	44.60	0.00
19:30	478	472	1.26	11.28	29.6	61.88	171.7	48.17	3.10	45.59	19.91

3.1 עבור האינטרוול 13:30-14:00, חשבו את העומס המוצע (Offered Load) ואת תוחלת זמן ההמתנה, ואימדו את ממוצע אורך התור. מדוע ערך האמד עבור ממוצע אורך התור יכול להיות רחוק מהערך האמיתי?

תשובה:

3.2 הסבירו כיצד תחשבו (בעזרת דו"ח ה-ACD) את הממוצע היומי של מספר השרתים במערכת ואת ההסתברות היומית להמתנה (דהיינו, אחוז הלקוחות שנאלץ להמתין בתור לפני קבלת שירות, לאורך היום). הגדירו את הסימונים בהם אתם משתמשים.

תשובה:

3.3 נתמקד ב-3 חצאי השעות המודגשים בדו"ח (12:00-12:30, 17:00-17:30, 19:00-19:30). עבור כל אחד מהאינטרוולים התאימו את המדיניות התפעולית המתאימה (ED, QD או QED). נמקו במדויק ככל שתוכלו, תוך התייחסות למדד תפעולי נוסף שאינו מופיע בדו"ח ה-ACD.

תשובה:

- 12:00-12:30

מדיניות תפעולית:

הסבר:

- 17:00-17:30

מדיניות תפעולית:

הסבר:

- 19:00-19:30

מדיניות תפעולית:

הסבר:

3.4 עבור כל אחד משלושת האינטרוולים המסומנים, נניח כי מספר המופעים גדל פי 4 וגם מספר המוקדנים גדל פי 4. תנו הערכה לאחוז הנטיות תחת תרחיש אלטרנטיבי זה ונמקו בקצרה.

תשובה:

- 12:00-12:30

אחוז נוטשים חדש:

הסבר:

- 17:00-17:30

אחוז נוטשים חדש:

הסבר:

- 19:00-19:30

אחוז נוטשים חדש:

הסבר:

3.5 אימדו את ממוצע סבלנות הלקוחות באינטרוול 13:30-14:00.

תשובה:

3.6 בשאלה זו נתייחס לגרף המוצג בעמוד הבא.

3.6.1 כפי שהוצג בהרצאות, כל אחת מהעקומות בגרף מתאימה לערך אחר של θ/μ . כתבו בתיבות המצוינות בגרף את הערך θ/μ המתאים עבור כל אחת משלוש העקומות המסומנות. הסבירו את קביעתכם.

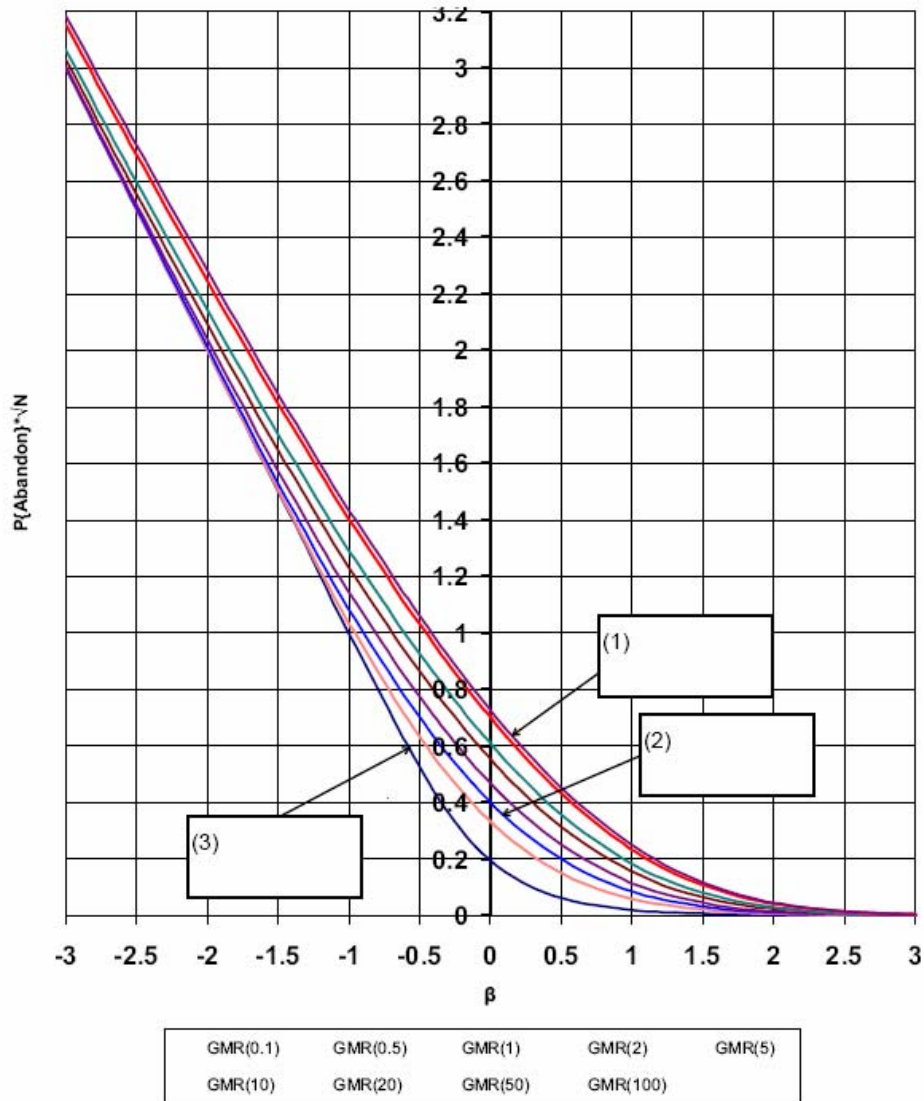
תשובה:

3.6.1 להבדיל מסעיף 3.5, אימדו עתה את סבלנות הלקוחות באינטרוול 13:30-14:00 תוך שימוש בגרף שבעמוד הבא. הסבירו בפירוט את דרך החישוב.

תשובה:

Erlang-A: % Abandonment

$\%Ab \times \sqrt{n}$ vs. β , for varying (im)patience (θ/μ):



Note the behavior like $-\beta/\sqrt{n}$, for (relatively) large negative β and over all (im)patience levels. For an explanation, think **ED**: $n = R + \beta\sqrt{R} = R - \gamma R$; hence $\gamma \approx -\beta/\sqrt{R} \approx -\beta/\sqrt{n}$, and γ is $P\{Ab\}$ in the ED-Regime.

חלק 2. איוש אופטימלי.

בחלק זה נניח כי את מוקד השירות הטלפוני ניתן לתאר כמערכת $M|M|N+M$ (Erlang-A) עם קצבי המופע המופיעים בדו"ח ה-ACD מתחילת השאלה, ממוצע זמן שירות של 3 דקות וממוצע סבלנות של $4\frac{1}{2}$ דקות.

3.7 בהרצאה תואר כלל ה- 20-80 (לפחות 80% מהלקוחות יקבלו שירות תוך 20 שניות), ככלל נפוץ אך ללא הצדקה מדעית.

באמצעות תוכנת *4CallCenter*, נמצא כי עבור אינטרוול הזמן 12:30-13:00 כלל זה יושג ע"י איוש מינימלי של 52 שרתים.

3.7.1 תארו, במדויק ככל שתוכלו, כיצד ניתן בעזרת הנתונים והתוכנה לקבל את רמת האיוש הנ"ל (לשם תזכורת הפונקציות של התוכנה, צרפנו להלן את העמוד הראשי שלה).

4CallCenters v2.23
File Table Settings Help

Performance Profiler | Staffing Query | Advanced Profiling | Advanced Queries | What-if Analysis

Performance Profiler allows you to determine and optimize the Performance Level of your Call Center. Enter your call center's parameters below, then click 'Compute'.

Your Call Center's Parameters

- Number of Agents Answering Calls: 10
- Average Time to Handle One Call (mm:ss): 01:00
- Calls per 60 minute Interval: 100

Settings

- Features: None Selected
- Basic Interval: 60 minutes
- Target Time: 00:10 (mm:ss)

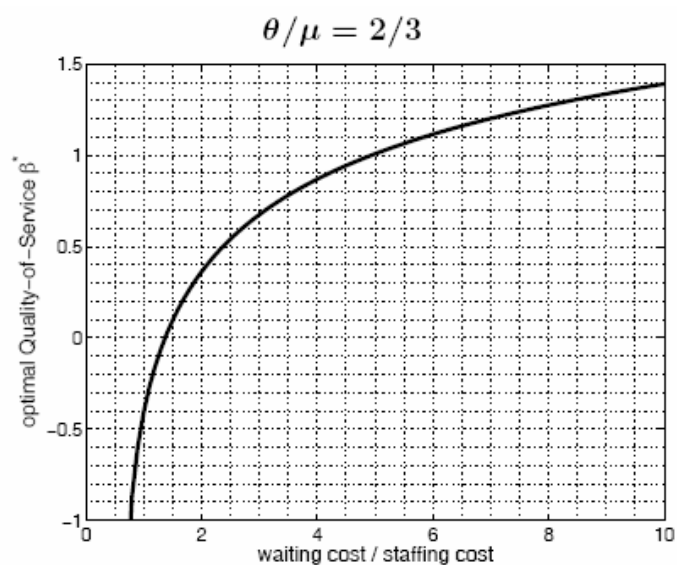
Change Settings

Compute | Add to Table | Delete Rows | Clear All | Export | Import | Graph

	Basic Interval (minutes)	Target Time to Answer	Number of Agents	Average Handling Time	Calls per Interval	Agent's Occupancy	Average Speed of Answer	%Answer within Target	Average Queue Length
Results									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

תשובה:

3.7.2 תוך שימוש בגרף הנתון, ותחת הנחת כלל ה-20-80, העריכו את שוויה של דקת המתנה של לקוח יחסית לדקת עבודה של מוקדן באינטרוול הנידון.



תשובה:

3.8 הוסיפו בגרף הנתון לעיל את העקומה המתאימה למודל שבו סבלנות הלקוחות אינסופית (ציירו אותה כמיטב יכולתכם) והסבירו בקצרה.

תשובה:

3.9 כעת נניח כי המוקד מאויש לפי כלל ה- 20-80, כאשר איוש אופטימלי מחושב לכל **שעה** (לפי איחוד נתוני שני חצאי השעה המופיעים בדו"ח). האיוש האופטימלי מחושב עבור כל שעה, באופן שתואר בסעיף 3.7.

נסמן ב- $N_1, \dots, N_{10}$ את רמות האיוש האופטימליות עבור כל שעה. בעיית מנהלת המוקד היא שלא ניתן להזמין מוקדנים רק לשעה מסוימת: כל מוקדן מוזמן **למשמרת** שאורכה 8 שעות, כולל **שעת הפסקה** לאחר 4 שעות עבודה. נסמן עלות מוקדן במשמרת ה- j - ית ב- C_j . על המנהלת לכסות את 10 שעות פעילות המוקד. הינכם מתבקשים לעזור למנהלת לקבוע את רמת האיוש האופטימלית למשמרת תחת האילוצים הנ"ל, וכפי שנלמד בכיתה.

3.9.1 הגדירו מטריצה $A = [a_{ij}]$ המתארת את המשמרות האפשריות (ז"א הגדירו את אברי המטריצה a_{ij}).

תשובה:

$$a_{ij} =$$

$$A = \begin{pmatrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{pmatrix}$$

3.9.2 נסחו בעיית תכנות בשלמים, שפתרונה נותן איוש אופטימלי למשמרת עבור כל המשמרות האפשריות, וזאת במטרה להביא למינימום את עלויות האיוש של המוקד.

תשובה:

שאלה 4 תאוריה (10 נקודות)

4.1 סטודנט שלא למד הנדסת מערכות שירות נדרש לתת עצה למנהל מוקד טלפוני שבו, בממוצע, קצב המופע הוא 100 שיחות לדקה ומשך השירות הוא 4 דקות. הסטודנט התבקש להמליץ על מספר המוקדנים הנדרשים להתמודד עם העומס הנ"ל. הסטודנט עשה חישוב נאיבי והמליץ על $400=4 \times 100$ מוקדנים.

תארו במדויק ככל שתוכלו, כולל הערכה מספרית של לפחות מדד ביצועים אחד, מה יקרה במוקד הנ"ל כאשר :

4.1.1 הלקוחות בעלי סבלנות רבה מאוד -

תשובה :

4.1.2 הלקוחות מאוד קצרי רוח (סבלנות נמוכה מאוד) -

תשובה :

4.1.3 הלקוחות בעלי סבלנות סבירה (הסבלנות הממוצעת שווה בערך למשך השירות הממוצע) -

תשובה :

4.2 נתון מודל למערכת שירות (Erlang-A או Erlang-C) עם הפרמטרים :

λ = קצב המופע ;

μ = קצב השירות (של שרת יחיד) ; או $E(S) = \frac{1}{\mu}$ ממוצע משך שירות ;

θ = קצב הנטישה (של לקוח יחיד) , במקרה של Erlang-A ;

N = מספר השרתים ;

בכיתה הוגדרו 3 תחומים תפעוליים עבור המערכות הנ"ל, המתוארים בשתי הטבלאות הבאות (בעמוד הנוכחי ובעמוד הבא).

השלימו את החלקים החסרים בטבלאות, תוך הגדרת הסימונים בהם אתם משתמשים (במידת הצורך) :

$M | M | N$:

אינדקס הצפף $E[Wait] / E[S]$	רמת איוש N	$P\{Wait > 0\}$	תחום תפעולי
$\frac{1}{\gamma}$	$0 < \gamma, R + \gamma$	≈ 1	ED
≈ 0			QD
$\frac{\beta}{\sqrt{N}}$	$0 < \beta, R + \beta\sqrt{R}$	$\alpha, 0 < \alpha < 1$	QED

סימונים :

• $R = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot E(S)$, העומס המוצע המוגדר כרגיל ע"י $Offered-Load = R$

•

•

$$: \underline{M \mid M \mid N + M}$$

$P\{Ab\}$	אינדקס הצפף $E[Wait]/E[S]$	רמת איוש N	$P\{Wait > 0\}$	תחום תפעולי
γ		$0 < \gamma < 1, \quad R - \gamma R$		ED
≈ 0	≈ 0	$0 < \delta, \quad R + \delta R$		QD
	$\frac{c \cdot \mu}{\theta \sqrt{N}}$			QED

סימונים :

- $c = c\left(\beta, \theta/\mu\right)$ – קבוע הניתן לחישוב בעזרת הפרמטרים של המודל.
-

4.3 נתון מודל Erlang-C בתחום מכוון יעילות (ED), ז"א $0 < \gamma$, $N \approx R + \gamma$.

הוכיחו כי אינדקס הצפף נתון על ידי $1/\gamma$, ז"א:

$$\frac{E(W_q)}{E(S)} \approx 1/\gamma$$

רמז:

$$W_q | W_q > 0 \stackrel{d}{=} \exp\left(\text{mean} = E(S) \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{1-\rho}\right)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{N\mu} \quad \text{כאשר}$$

תשובה:

4.4 נתון מודל Erlang-A בתחום מכוון יעילות (ED), ז"א $0 < \gamma < 1$, $N \approx R - \gamma R$.

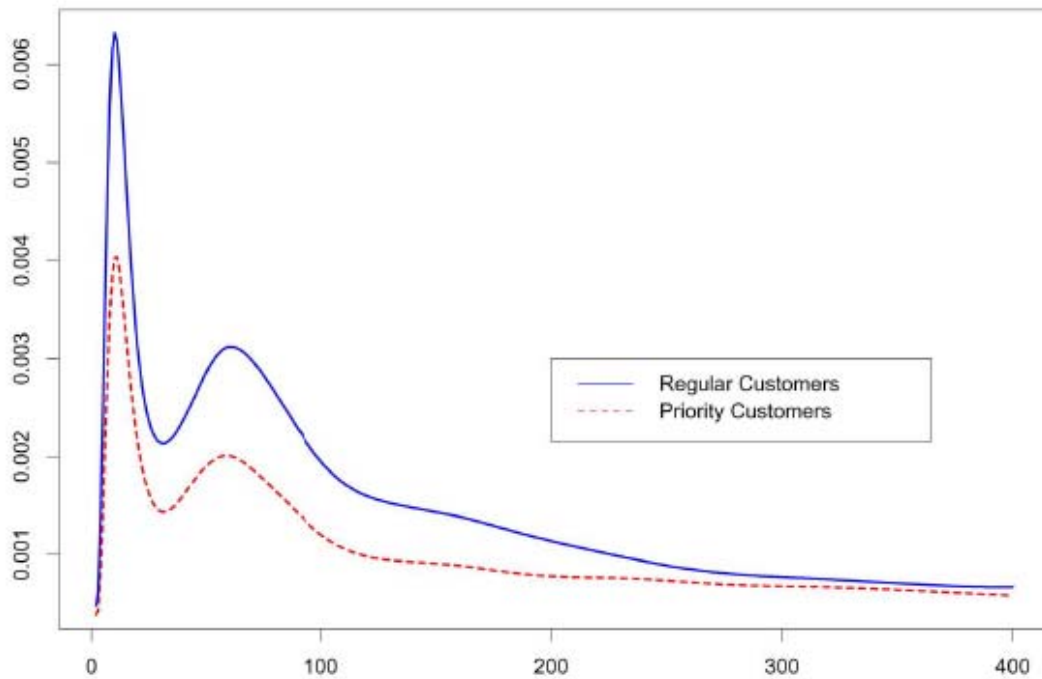
הוכיחו שאחוז הנוטשים נתון על ידי γ , ז"א:

$$P(\text{Abandon}) \approx \gamma$$

תשובה:

שאלה 5 שאלת בונוס

המאמר המצורף בעמוד הבא פורסם במגזין הטכניון, אביב 2007. כדרכם של עיתונאים, עריכה עיתונאית של הטקסט המקורי הובילה לאי דיוקים. למשל, הפיסקה המסומנת במאמר היא קיצור דרסטי של תאור הגרף הבא:



מה מדויק יותר ומה פחות בפיסקה המסומנת:

תשובה:

עידן השירות



יודעים מניסיונם, הפער בין רמת השירות הטלפוני הנפוצה לבין המתואר למעלה עדיין ניכר. צמצום פער זה, תוך שילוב טכנולוגיה וגורמי אנוש, מחייב כלים מבוססי-מחקר - ואלה מפותחים ונלמדים במדעי השירות והנדסת השירות.

מיפוי הסבלנות

המיוחד במדעי השירות הוא הצורך בשילוב היבטים מדעיים, טכנולוגיים ואנושיים בהתמודדות עם בעיות. כיצד, למשל, "נראית" סבלנותו של ממתין לשירות טלפוני? מחקרים עדכניים מראים, למשל, כי רוב הלקוחות נוטשים את השיחה אחרי כ-60 שניות של המתנה. עם זאת, לקוחות VIP נוטים לנטוש פחות מלקוחות רגילים.

המידע הזה ותובנות אחרות נלמדים בפקולטה בקורס "הנדסת מערכות שירות". הקורס מתמקד בהיבטים תפעוליים - להבדיל משיווק, מידע או משאבי אנוש. הלימוד משלב תיאוריה וכלים מתאימים ומסתמך על נתוני אמת. אתר הקורס נגיש וכולל את ההרצאות, התרגולים והתרגילים במלואם (<http://ie.technion.ac.il/serveng>). בפקולטה נלמדים קורסים נוספים המוקדשים לשירות, למשל "ניהול קשרי לקוחות" (ההיבט השיווקי), כמו גם קורסים חיצוניים לחינוכו של מהנדס שירות וניהול, למשל "כריית נתונים" (היבט סטטיסטי) ו"התנהגות ארגונית" (היבט פסיכולוגי וסוציולוגי).

רובו של חומר הקורס "הנדסת מערכות שירות" הינו מקורי. החומר פותח בטכניון ומתבסס על מחקריו של המדצה פרופסור אבישי מנדלבאום ושל תלמידיו, אשר שילבו בו את מחקריהם. את הקורס מלווה, כמעט מראשיתו, ד"ר סרגי זלטיין אשר תרם לו רבות: עבודת המאסטר שלו היוותה בסיס למערך התרגולים והתרגילים, ויישומים של הדוקטורט שלו נלמדים כנושא מרכזי.

צמיחה משמעותי במשק הישראלי. "הנדסת שירות" ו"מדעי השירות" הם תחומי מחקר ויישום חדשים שנולדו מתוך הצורך הדחוף ב"מומחים בשירות". מומחים אלה חייבים להתמודד עם מכלול בעיות סוציו-כלכליות ופסיכו-טכנולוגיות. ולשם כך הם נדרשים בהכשרה רב-תחומית. החל במדעים מדויקים, מידע וטכנולוגיה, המשך בכלכלה וניהול וכלה בפסיכולוגיה וסוציולוגיה. הפקולטה לתעשייה וניהול, שבה מלמדים חוקרים מובילים במירב התחומים הנדרשים, מהווה בית טבעי להכשרתם של מומחים אלה.

מצוי לעומת רצוי

את האתגר בתכנון ותיפעול של מערכת שירות קל להבין כאשר מדמיינים בית-מלון או בית חולים גדול. דוגמה פחות מוחשית, אך לא פחות נפוצה, היא מוקד טלפוני. כיום קיימים כעולם מאות אלפי מוקדים טלפוניים אשר מעסיקים מיליוני עובדים, שדרכם עוברת מרבית הפעילות העסקית. מוקד טלפוני גדול יכול להתפרש על פני מספר יבשות ולתפקד כמוקד וירטואלי אחד; יכולים לעבוד בו אלפי נציגי שירות (מוקדנים) המכסים מיומנויות ויכולות רבות ומשרתים מדי יום רכבות לקוחות. ביעילות וברמת-שירות גבוהות ביותר. ברור שמוקד מתקדם חייב להימצא בחזית הטכנולוגיה; פחות ברור שכ-75% מהוצאותיו התפעוליות הן בעצם על כוח אדם (משכורות, הכשרה, סביבת עבודה) עם זאת, רמות השחיקה והתחלופה בדרך כלל גבוהות מאוד: הוותק הממוצע של עובדים הוא עד שנה וחצי, ובמוקדים רבים למעלה מ-50% מכוח העבודה מתחלף מדי שנה. לא פלא, אם כן, שמוקדים טלפוניים מכונים, בעת וכעונה אחת, "חזית המסחר" ו"מרחצאות הזיעה" של המאה ה-21. בנוסף, וכפי שהקוראים ודאי

"מדעי השירות" ו"הנדסת שירות" הם תחומים חדשים של מחקר ויישום, שנולדו מהתרחבות מגזר השירות

האם עדיף לקנות מוצר כגון צי מכונות או מערכת תקשורת או תוכנה במקרים שבהם ניתן - בקלות יחסית - לקנות רק את השירות שאותו מוצר מספק ולמשל חכירות רכב מחברת ליסינג או שימוש במוקד טלפוני חיצוני? שאלה חשובה ונפוצה זו מסמלת את מהפיכת השירות שעוברת על החברה המודרנית

המגזר המוביל

מגזר השירות הוא המרכיב העיקרי בכלכלה המערבית, ומהווה את מנוף הצמיחה העיקרי שלה. מגזר זה כולל בין היתר שירותי בריאות ומינהל ציבורי, בנקאות וביטוח, אירוח ואוכל, תחבורה ותקשורת, מסחר וחינוך במערב אירופה ובארצ"כ מועסק בין 70% ל-80% מכוח העבודה בשירות; רק שניים-שלושה אחוזים עוסקים בחקלאות; והשאר בתעשייה. בארצ"כ מעריכים שבמוקדים טלפוניים בלבד מועסקים למעלה מ-4 מיליון אנשים - יותר מכלל העוסקים בחקלאות. כמו כן, מקור ההכנסה העיקרי של חברות רבות עובר מייצור לשירות (למעלה מ-50% ב-IBM, לדוגמה), ורכים מהעובדים במגזר הייצור מועסקים למעשה בתפקידי שירות בהתאם לכך. חלק הארי של משרות חדשות מקורו במגזר השירות. מעניין לציין שבארצ"כ, חלקו של מגזר השירות כתוצר הלאומי ובניכוי השירות הציבורי קרוב ל-75%, בעוד שב ישראל חלקו הוא כ-50% - עובדה המצביעה על קיומו של פוטנציאל

Time	Arrivals	Served	% Abn	E(Wq)	E(Wq Wq>0)	% Wait=0	Service Time (sec)	No. of Agents	Number in Queue	Offered Load	% Wait>30
10:00	387	386	0.26	2.06	7.8	73.58	194.9	42.60	0.51	41.90	0.00
10:30	456	435	4.61	28.15	31.9	11.84	185.6	44.21	6.86	47.02	35.18
11:00	448	441	1.56	7.94	18.1	56.09	173.3	40.93	2.07	43.13	8.53
11:30	500	463	7.40	33.44	40.9	18.27	192.2	45.97	8.78	53.38	54.66
12:00	520	474	8.85	45.92	46.6	1.40	178.8	47.28	12.03	51.66	67.67
12:30	491	471	4.07	27.34	32.7	16.41	177.9	44.66	7.34	48.54	49.01
13:00	498	487	2.21	17.90	29.5	39.41	194.6	50.04	4.90	53.85	24.13
13:30	478	472	1.26		20.3	78.27	170.7	49.81			8.10
14:00	475	471	0.84	3.13	13.9	77.56	178.4	45.47	0.92	47.07	1.97
14:30	462	455	1.52	5.92	12.7	53.45	195.6	48.97	1.57	50.20	1.82
15:00	434	427	1.61	7.00	15.7	55.34	185.4	43.48	1.72	44.70	4.09
15:30	403	389	3.47	14.71	30.7	52.13	207.8	43.03	3.33	46.52	23.18
16:00	400	400	0.00	0.28	5.8	95.26	166.8	39.95	0.16	37.07	0.00
16:30	432	417	3.47	21.03	37.5	43.92	186.5	41.34	5.04	44.77	29.57
17:00	489	473	3.27	14.68	30.0	51.09	199.5	60.23	4.09	54.20	21.30
17:30	478	465	2.72	20.09	34.6	41.94	194.2	49.72	5.29	51.56	32.97
18:00	439	437	0.46	2.73	27.0	89.91	168.9	43.52	0.82	41.18	2.19
18:30	573	539	5.93	33.22	44.3	25.10	209.0	57.14	10.21	66.54	52.08
19:00	418	416	0.48	0.18	5.7	96.87	192.1	56.93	0.14	44.60	0.00
19:30	478	472	1.26	11.28	29.6	61.88	171.7	48.17	3.10	45.59	19.91