

## מבוא לרשתות מחשבים אביב תש"ף

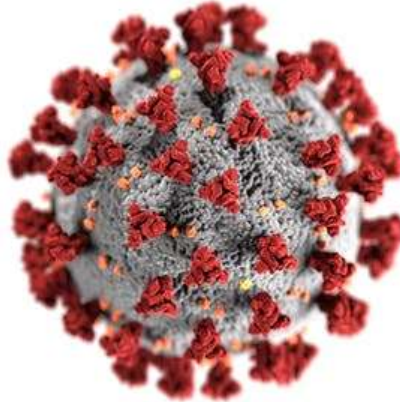
תרגיל בית 3

תאריך הגשה: 31/05/2020

האחראי על התרגיל: דן אהרונסון, דוא"ל: [danaa@cs.technion.ac.il](mailto:danaa@cs.technion.ac.il)

ההגשה מומלצת בזוגות והינה אלקטרונית בלבד.

מומלץ לקרוא את כל התרגיל לפני שמתחילים לפתור!



### הבעיה

כחלק מהמאבק להתמודדות עם הקורונה, משרד הבריאות מעוניין להקים מספר עמדות בדיקה ברחבי הארץ. על מנת למצוא את הפריסה הטובה ביותר של עמדות הבדיקה, משרד הבריאות קודם רוצה למדל את המערכת. הוא רוצה למדל  $M$  עמדות בדיקה שפרוסות באופן מושלם בהתאם למיקום האוכלוסייה בארץ. הוא מניח שקצב הגעת התושבים לכלל עמדות הבדיקה הוא פואסוני עם פרמטר  $\lambda$ , וכאשר תושב מעוניין להגיע לעמדת בדיקה הוא בוחר את אחת העמדות בצורה אחידה (בכך מייצגים את זה שהם ממוקמים באופן מושלם – הוא יגיע לזו שהכי קרובה אליו). בנוסף, לכל עמדת בדיקה קצב בדיקת תושב זהה והוא פואסוני עם פרמטר  $\mu$ . משרד הבריאות גם מעוניין שבמודל שלו יתקיים שלאחר שתושב בחר את עמדת הבדיקה שאליו הוא רוצה ללכת, ההסתברות שהתושב יגיע להיבדק קטנה ככל שמספר התושבים הממתינים בעמדת הבדיקה הנ"ל גדל (עד שהיא מגיע ל-0), לדוגמה: אם יש כרגע שני תושבים בעמדת בדיקה שבחר (אחד בטיפול ואחד ממתין) ההסתברות שהוא יגיע לבדיקה תהיה  $\frac{3}{5}$  ואם יש שלושה תושבים ההסתברות יכולה להיות  $\frac{1}{2}$ . משרד הבריאות מעוניין לבחון את התנהגות עמדות הבדיקה שיפרוס בהתאם למספרם, קצב הגעת התושבים אליהם, קצב הבדיקה בהם וההסתברויות ליתור על המתנה.

### חלק רטוב

בחלק זה אתם תממשו סימולציה מבוססת אירועים (event based), כדי לחשב מדדים מסוימים על קונפיגורציות שונות של עמדות הבדיקה. בסימולציה כנ"ל כל הזמן מטפלים באובייקטי "אירוע" עפ"י סדר כאשר חלק מהטיפול באירוע הוא יצירת אובייקטי ה"אירוע" הבאים. מידע נוסף לגבי סוג זה של סימולציה ניתן למצוא באינטרנט:

<https://www.google.com/search?q=event+driven+simulation>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete-event\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete-event_simulation)

<http://www.cs.wm.edu/~esmirni/Teaching/cs526/section7.3.pdf>

### קלט הסימולטור (לפי הסדר):

- $T$  – זמן הפעולה הכולל של הסימולציה. לאחר  $T$  יחידות זמן (כולל נקודת הזמן  $T$ ), לא יגיעו עוד תושבים אולם התושבים שכבר בעמדת בדיקה מטופלים (כלומר אלה שכבר מקבלים שירות או ממתינים).
- $M$  – מספר עמדות הבדיקה בארץ
- $\lambda$  – קצב הגעת התושבים לכל עמדות הבדיקה
- $\mu$  – קצב השירות בתושב בעמדת בדיקה
- $P_0, P_1, \dots, P_i, \dots, P_N$  – ההסתברויות שתושב יגיע כאשר ידוע לו שיש כבר  $i$  תושבים בעמדת הבדיקה שבחר ( $N$  לא מוגבל בגודלו). בהכרח מתקיים:  $P_0 = 1, P_N = 0$ . שימו לב שאין צורך שההסתברויות הנ"ל יסתכמו ל-1.

ניתן להניח את נכונות הקלט, והפקודה אשר תריץ את הסימולציה הינה מהצורה:

> ./simulator  $T M \lambda \mu P_0 P_1 \dots P_N$

דוגמה מספרית לקלט כזה הינה:

> ./simulator 1000 2 40 25 1 0.5 0.25 0

במקרה זה, הסימולציה תרוץ למשך 1000 יחידות זמן כאשר יש 2 עמדות בדיקה, עם קצב הגעת תושבים שהוא 40 וקצב שירות בתושב שהוא 25. כאשר אין כרגע תושב בעמדת הבדיקה שתושב בחר, ההסתברות שהוא יגיע היא 1, כאשר יש כבר תושב 1 ההסתברות היא 0.5, כאשר יש 2 תושבים ההסתברות היא 0.25 וכאשר יש 3 תושבים ההסתברות היא 0 (כלומר התושב פוחד מדי להידבק ומוותר על להגיע).

### פלט הסימולטור:

- $Y$  – מספר התושבים שנבדקו.
- $X$  – מספר התושבים שרצו להגיע, אך ויתרו בגלל שהיה תור.
- $T'$  – זמן סיום הטיפול הסופי של המערכת, כלומר זמן סיום הטיפול בתושב האחרון בעמדה כלשהי. שימו לב, ייתכן ש-  $T < T'$  וגם ש:  $T > T'$
- $A_{T_i}$  – הממוצע על כל עמדות הבדיקה עבור כמות הזמן מתוך  $T'$  שבעמדה היו  $i$  תושבים (בשירות וממתינים)
- $Z_i$  – ההסתברות המשוערת שיהיו  $i$  תושבים בעמדת בדיקה מסוימת (לפי  $A_{T_i}$  ו-  $T'$ )
- $\bar{A}_W$  – הממוצע על כל עמדות הבדיקה עבור זמן ההמתנה (Wait) הממוצע של תושב בהן (מתוך התושבים שלא ויתרו)
- $\bar{A}_S$  – הממוצע על כל עמדות הבדיקה עבור זמן שירות (Service) הממוצע של תושב בהן (מתוך התושבים שלא ויתרו)
- $\bar{A}_{\lambda_A}$  – הממוצע על כל עמדות הבדיקה עבור קצב ההגעה הממוצע (Arrival) של תושבים אשר לא ויתרו על להגיע אליהן

פלט הסימולטור הינו שורה אחת מופרדת ברווחים לפי הסדר שתואר לעיל. דוגמה לפלט לגיטימי עבור הקלט הקודם (בדוגמה) היא:

> 27040 12805 1000.01 458.411 365.043 148.019 28.5263 0.458407 0.36504  
0.148017 0.028526 0.0151674 0.0400575 13.5212

## חלק יבש

בחלק זה תבחנו את נכונות הסימולציה שלכם ע"י חישוב ידני של פלטי הסימולטור הצפויים. עבור כל אחד מהקלטים הבאים:

1. ציירו דיאגרמת מצבים המתארת את התנהגות אחת עמדות הבדיקה כפי שלמדנו
  2. האם המערכת המתוארת היא יציבה? מה התנאים למערכת יציבה?
  3. חשבו את הסתברויות המצבים
  4. מהו קצב ההגעה הממוצע של תושבים?
  5. מהי תוחלת זמן השהייה (המתנה ושירות)? רשמו את הנוסחה לפי חוק ליטל וחשבו את התוחלת.
  6. מהי תוחלת זמן ההמתנה?
  7. הריצו את הסימולטור שלכם על הקלט **והראו בפתרון** שהוא מסכים עם כל החישובים התיאורטיים שביצעתם
- הערה: מומלץ להריץ את הסימולטור ל- $T$  גדול ו/או כמה פעמים עם ממוצע על התוצאות כדי להמעיט את ההשפעה של הרעש מבחירה אקראית

הקלטים הם:

- a. ./simulator 1000 2 20 20 1 0.8 0.5 0.1 0
- b. ./simulator 1000 4 20 40 1 0.75 0.7 0

## הגשה

- יש להגיש אלקטרונית דרך אתר הקורס קובץ zip יחיד בשם <id2>-<id1>.zip (שימו לב רק zip ולא כל כיווץ אחר)
- בתוך קובץ ה-zip יימצא בין השאר קובץ makefile כך שהרצת הפקודה make לאחר פתיחת ה-zip תיצור את קובץ ההרצה בשם simulator. באתר יש סקריפט שבודק את תקינות ההגשה הרטובה שלכם. לפני ההגשה **חובה להריץ אותו על השרת**. הגשות שלא יעמדו בתנאי ההגשה (יעברו את הסקריפט) יקבלו 0 על החלק הרטוב
- בתוך קובץ ה-zip יימצא בנוסף קובץ שייקרא dry.pdf אשר כולל את פתרון החלק היבש
- את הסימולטור ניתן לכתוב בכל שפת תכנות שתמצאו כל עוד ניתן להריץ אותה על השרת csl3.cs.technion.ac.il (תבדקו לפני שמתחילים לכתוב קוד!)
- הבדיקה של התרגיל תעשה באופן אוטומטי מלא ותתאפשר חריגה מסוימת מתוצאות סימולטור הבדיקה
- כחלק מבדיקת התרגיל נריץ את הסימולציה שלכם על כל טסט 100 פעמים ונעשה ממוצע על התוצאות כדי להעלים השפעה של רעש. הסימולציה שלכם צריכה לרוץ על השרת על כל הטסטים עבור לכל היותר 15 דקות. ריצה שלא תסתיים תוך 15 דקות תיחשב כריצה תקועה ותגרום להורדת ניקוד. על מנת לעמוד בדרישה הזו תדאגו שזמן הריצה על השרת עבור קלט מסוים עם  $T = 1000$  הוא לכל היותר 2 שניות (זהו פרק זמן מספיק ארוך)

## הערות וטיפים

- זהות ידועה מהסתברות היא שאם  $U$  הוא משתנה מקרי רציף המתפלג אחיד על הקטע  $(0,1]$ , אז:
$$-\frac{\ln(U)}{\lambda} \sim \exp(\lambda)$$
- תזכרו שאתם יכולים לבדוק את נכונות הסימולציה שלכם ע"י ביצוע חישובים נוספים תיאורטיים, כפי שעשיתם ביבש, עם ערכים אחרים שתבחרו עבור:  $M, \lambda, \mu$ , ו- $P_0, \dots, P_N$ . אם אתם מקבלים הבדל לא זניח בסימולציה תחשדו בהגשה שלכם.