תרגיל 3 – Load Balancer בסיסי

הגשה בתיקיית הבית בנובה. יש ליצור תיקיה בשם ex3 תחת התיקיה c_lab. יש להעתיק אליה את קובץ ה-README הקבוע, לתת הרשאות 755 לכל הקבצים בתוכה, ובנוסף לכך לתת לתיקיה עצמה הרשאות 777 בעזרת הפקודה (מתוך התיקיה)

chmod 777 .

הטסט מוודא שאלו בדיוק ההרשאות של הקבצים, וכרגיל אם הוא הדפיס משהו למסך, יש בתרגיל בעיה.

תזכורת: **התרגילים נבדקים אוטומטית בעזרת מערכת לזיהוי העתקות**, כולל מול הגשות מסמסטרים קודמים.
דדליין: 8/6

לפני התרגיל – תרגלו סוקטים, לא להגשה

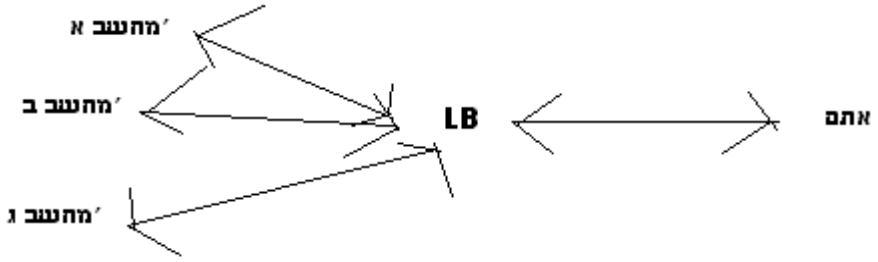
להלן מספר תרגילונים קטנים שכדאי לכם לעשות לפני שאתם צוללים לתרגיל עצמו. הם אינם להגשה, אך מומלץ מאוד לעשות אותם לפני שמתחילים את התרגיל עצמו, שעולה ברמת המורכבות משמעותית על התרגילים הקטנים.

1. התחברו לגוגל מפייתון, כמו שהדגמנו בכיתה. נסו להגיע למצב שאתם מסוגלים לעשות זאת עם מעט הצצות בדוגמאות.
2. התחברו מפייתון לפייתון אחר, כמו שהדגמנו בכיתה. גם פה, כדאי להגיע למצב שאתם מסוגלים לעשות זאת בלי להציץ כל כמה שניות בדוגמאות.
3. התחברו מ-C לפייתון שלכם. אל תדאגו אם אתם נצמדים למצגת.
4. התחברו מקוד C לקוד C אחר. אל תדאגו אם אתם נצמדים למצגת.
5. המירו כבר עכשיו אחת מדוגמאות הקוד הללו ללינוקס. זה בהחלט עשוי לחסוך זמן בהמשך.

התרגיל עצמו

0. רקע ומטרה:

בתרגיל נכתוב Load Balancer בסיסי (להלן LB). LB היא תוכנית שמעבירה את התעבורה שהיא מקבלת לשרתים אחרים. למשל, נניח שאתם מתחברים לגוגל ומחפשים משהו. אתם מתחברים לכתובת IP ספציפית, אבל לגוגל כידוע יש הרבה מחשבים. איך גוגל יעבירו את החישוב למחשבים השונים, ולא יאלצו לבצע את כל החישובים על המחשב אליו התחברתם? הם ישתמשו ב-LB על מנת להעביר את הבקשות שלכם למחשבים "שמאחוריו", וכך אפשר למשל לדאוג שכל חישוב מתבצע במחשב נפרד, כמוצג בתרשים:



בתרגיל נממש את שלושת הצדדים הבאים:

1. ה-LB – ייכתב על ידכם באמצעות קוד בשפת C, ויקרא ex3_lb.

2. שלושת המחשבים (א', ב' וג') – ייכתבו על ידכם באמצעות שפת פייתון (אפשר גם לכתוב ב C, אבל זה יהיה יותר מסובך), ויקראו ex3_server.

3. הדפדפן – ימומש ע"י הטסטים שמגיעים עם התרגיל, ואם תרצו להתלהב ממעשה ידיכם, ע"י דפדפן אמיתי. אינכם צריכים לכתוב אותו בעצמכם.

1. תוכנית ה-LB (כתובה בשפת C)

- מומלץ לפתוח את קובץ הטסט האוטומטי עבור התרגיל, שיושב ב

~nimrodav/socket_ex/test.sh

ולקרוא אותו תוך כדי שאתם עוקבים אחרי ההנחיות. כמובן שכרגיל, הטסט אוכף גם את ההרשאות ואת הפורמט של קובץ ה-README, וכרגיל אם הוא הדפיס דבר כלשהו למסך, צפו להפחתת נקודות. למען הסר ספק, רצף הפקודות הבא צריך לעבוד ולא להדפיס כלום:

```
cd ~/c_lab/ex3
~nimrodav/socket_ex/test.sh
```

- ה-LB עולה, תופס איזשהו פורט פנוי בעזרת bind וקורא ל-listen (מומלץ להגריל פורטים מעל 1024, ומתחת ל-64000), וכותב לקובץ server_port בתיקיה הנוכחית את מספר הפורט. הוא תופס באותו אופן פורט פנוי נוסף (אליו הדפדפן יתחבר) וכותב אותו לקובץ http_port, גם הוא בתיקיה הנוכחית. שימו לב: עבור שני הפורטים, ה-LB באמת צריך לתפוס פורט **פנוי.** אם הוא הגריל פורט והקריאה ל-bind נכשלה כי הפורט תפוס, הוא צריך להגריל פורט חדש, ושוב ושוב, עד שהוא תפס בהצלחה פורט. רק לאחר ששני הקבצים נכתבו, והתבצעו שתי קריאות ל-listen על שני הסוקטים הרלבנטיים, הוא עובר לחכות ש-3 השרתים יתחברו אליו. שימו לב – כל סדר פעולות אחר הוא פוטנציאל לבאג.

- בשלב הזה, הטסט האוטומטי מריץ את 3 השרתים עם ארגומנט יחיד שהוא מספר הפורט. 3 השרתים צריכים להתחבר ל-LB בפורט הזה. אם השרתים שלכם כתובים בפייתון, דאגו שהשורה הראשונה בקובץ תהיה

#!/usr/bin/python2.7 -tt

וכך הקובץ server שבעצם מכיל קוד בפייתון, יהיה ניתן להרצה בפני עצמו, כפי שהטסט מריץ אותו.

- כעת, ה-LB מחכה שהלקוח, שמשוחק בטסט ע"י הקובץ run_test.py יתחבר אליו בפורט http_port (שמוזכר לעיל). בכל התחברות של הדפדפן, ה-LB קורא בקשת HTTP שלמה. אתם לא צריכים לדעת HTTP, רק שבקשה מסתיימת בפעם הראשונה שרצף התווים

'\r\n\r\n'

מופיע.

- ה-LB מעביר את הבקשה כולה, כולל 4 התווים בסיום, לשרת שתורו לטפל בבקשה. ה-LB מעביר את הבקשות לטיפול השרתים לפי סדר ההתחברות וחוזר חלילה, כלומר שרת 1, שרת 2, שרת 3, שרת 1, שרת 2...
- לאחר הטיפול ע"י השרת, ה LB מקבל הודעה מהשרת, קורא אותה עד שהוא מגיע לארבעת התווים "\r\n\r\n" <u>בפעם השניה</u> ומעביר את התשובה לדפדפן.
- ה- LB רץ בלולאה אינסופית, עד שעוצרים אותו (הטסט האוטומטי מכיל קוד שעוצר אותו). ה-LB צריך לשחרר כל משאב שניתן לשחרר במהלך הריצה השוטפת. אם יש משאבים שלא ניתן לשחרר במהלך הריצה השוטפת, ולכן הם לא שוחררו בזמן שהטסט האוטומטי סוגר את ה-LB – זה בסדר.

<u>2. השרתים/מחשב א',ב' או ג' (כתובים בשפת פייתון)</u>

- כשכל אחד משלושת השרתים עולה, הוא מתחבר ל-LB לפי ההנחיות, ומחכה לבקשה מה-LB.
- לאחר מכן, השרת שמקבל את הבקשה, קורא את הבקשה כולה (כזכור, קורא עד שהוא רואה את רצף התווים '\r\n\r\n'). בקשת HTTP היא רצף של טקסט. הבקשה תהיה בסגנון הדוגמה הבאה:

"""GET /counter HTTP/1.1\r

Host: nova.cs.tau.ac.il\r

Connection: keep-alive\r

Cache-Control: max-age=0\r

Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8\r

User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 5.1) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/31.0.1650.57 Safari/537.36\r

Accept-Encoding: gzip,deflate,sdch\r

Accept-Language: en-US,en;q=0.8,he;q=0.6\r\n\r\n"""

רוב המידע שנשלח בבקשה לא מצריך עיבוד במהלך התרגיל, מלבד השורה הראשונה, שתיכף נדבר עליה. שימו לב שהשורות יהיו מופרדות ב-'\r\n'.

רק בשביל לסבר את האוזן, HTTP הוא פרוטוקול (שיטה מוסכמת להעברת מידע) טקסטואלי, שמעביר "כל דבר בשורה נפרדת", כאשר ירידת שורה היא \r\n, וסוף המידע הוא בשתי ירידות שורה צמודות.

- השרת מחלץ מהשורה הראשונה את המלה שמופיעה אחרי ה-GET. למלה זו נקרא בשם 'הכתובת'. בהנחה שהכתובת היא /counter, התשובה שהוא יחזיר ללקוח (או יותר נכון, ל-LB וה-LB יעביר ללקוח) היא מספר הלקוחות שביקשו את הכתובת הזו מהשרת הספציפי הזה עד עכשיו. את התשובה יש להחזיר בפורמט הבא:

'HTTP/1.0 200 OK\r\nContent-Type: text/html\r\nContent-Length: 5\r\n\r\nabcde\r\n\r\n'

כאשר את המחרוזת abcde יש להחליף בתשובה האמיתית, כלומר מספר הלקוחות שביקשו את הכתובת הזו עד עכשיו, ואת ה-5 שמופיע אחרי ה-Content-Length: יש להחליף באורך של התשובה בתווים (בדוגמה זו השרת מחזיר את המחרוזת abcde ולכן האורך הוא 5; אם הוא היה מחזיר את המחרוזת "1024", האורך היה 4). השרת חוזר לישון עד שיקבל בקשה נוספת מה-LB.

- כעת, השרת מחזיר את ההודעה ל-LB, שכצפוי קורא אותה עד שהוא מגיע ל-'\r\n\r\n' <u>בפעם השניה</u> (הסתכלו שוב על התשובה ו-וודאו שהבנתם למה), ואז מעביר אותה <u>במלואה</u> ללקוח. ה-LB חוזר לישון עד שהוא מקבל חיבור חדש מלקוח.

- אם השרת קיבל בקשת GET לכתובת שאינה /counter, השרת צריך להחזיר הודעת שגיאה מסוג 404, שמשמעותה "אין משמעות לכתובת שביקשת":

```
HTTP/1.1 404 Not Found
Content-type: text/html
Content-length: 113

<html><head><title>Not Found</title></head><body>
Sorry, the object you requested was not found.
</body></html>
```

נזכיר שוב ששורות מופרדות ב-\r\n.

<u>3. הדפדפן:</u>

בדיקה ע"י הדפדפן היא אופציונלית, ונועדה בעיקר בשביל שיהיה לכם משהו להתגאות בו בסוף התרגיל. הטסט האוטומטי "משחק את התפקיד" של הדפדפן בעזרת קובץ הפייתון run_test.py; מומלץ לקרוא את הקובץ הנ"ל במהלך העבודה. אם אתם מעוניינים לראות שהקוד שכתבתם עובד עם דפדפן אמיתי, פיתחו דפדפן והתחברו מתוך הקמפוס לכתובת:

http://nova.cs.tau.ac.il:http_port/counter

או

http://localhost:http_port/counter

כש-http_port מוחלף בפורט שהשרת כתב לקובץ, ותקבלו את התשובה מוצגת בדפדפן שלכם.

שימו לב שאין גישה לפורטים אקראיים של nova מחוץ לקמפוס, כך שאם אתם מתחברים ל-nova, תצטרכו לבצע את ההתחברות הזאת מתוך הקמפוס.

<u>שימוש ב-clang-format, clang-tidy</u>

כל קוד ה-C שאתם מגישים במסגרת התרגיל, צריך להיות נקי מאזהרות בבדיקה של clang-tidy, ואחרי פירמוט בעזרת clang-format. הטסט האוטומטי של התרגיל בודק זאת.

אין צורך לבדוק את הקוד בעזרת valgrind, אך כמובן שיש להקפיד שלא לדלוף זכרון. סטודנטים המעוניינים בכל זאת להשתמש ב-valgrind כדי להיות בטוחים שאין בעיות גישה לזכרון בקוד, יכולים לעשות שינוי קל ב-LB כך שהוא יצא לאחר ששירת תשעה לקוחות. במצב זה, יהיה ניתן לבדוק את ה-LB עם valgrind. ניתן להוסיף ל-LB ארגומנט אופציונלי שמשנה את ההתנהגות שלו באופן הזה, כך שהוא ישרת תשעה לקוחות ואז יסיים את פעולתו, ובכך לחסוך שינויים תכופים בקוד רק לצורך בדיקות. כמובן שכל שינוי שנעשה בקוד לצורך הזה, צריך עדיין לעבור את הטסט הרגיל של התרגיל באופן חלק.

<u>4. סדר פעולות:</u>

הטבלה הבאה מסכמת את סדר הפעולות בתרגיל. שימו לב, אין הטבלה הנ"ל מוסיפה מידע על המידע שמופיע בסעיפים 1-3:

	הצד השולח	הצד המקבל	
1	שרתים	LB	יוצרים קשר עם ה LB
2	הדפדפן	LB	שולח הודעת HTTP ל LB
3	LB	אחד השרתים	מעביר את ההודעה לאחד השרתים (לפי סבב מעגלי).
4	אחד השרתים	LB	מחלץ מתוך הודעת HTTP את הערך שמופיע אחרי ה-GET, זוכר כמה פעמים ביקשו אותו ממנו ושולח את התוצאה בפורמט הבא: 'HTTP/1.0 200 OK\r\nContent-Type: text/html\r\nContent-Length: 5\r\n\r\nabcde\r\n\r\n' לתוכנית ה LB.
5	LB	הדפדפן	מעביר לדפדפן את התוצאה שהוא קיבל בסעיף הקודם לדפדפן.

שימו לב, הטבלה הנ"ל מתארת את תהליך התקשרות בין שלושת ה"שחקנים" בתרגיל. הדרישות המלאות בתרגיל מופיעות בסעיפים 1-3. הטבלה הינה תקציר בלבד.

הערה על bind

לאורך הסמסטרים, סטודנטים רבים התקשו לבדוק את ההתנהגות של התוכנית כשהיא נתקלת במקרה של פורט תפוס. זאת כמובן בעיה לא קלה: הרי כדי להיות בטוחים במידה סבירה שהתוכנית מתפקדת כראוי במצב הזה, היא צריכה להיבדק במצב הזה, אבל מה נעשה, נדאג שהיא בכח תנסה לתפוס פורט שהוא כבר תפוס?!

כן! יש כל מיני פתרונות למצב הכללי הזה, של לבדוק התנהגות של תוכנית בתרחיש שמשהו לא עובד חלק. בתרגיל זה, אני מציע (לא חובה) להשתמש בפתרון שמכניס את המצב הזה ישירות לתוך התוכנית: הכי פשוט שתהיה פונקציה שמגרילה מספר פורט אקראי. בסיכוי חצי, היא מגרילה פורט אקראי שאמור להיות פנוי, מעל 1024, ובסיכוי חצי, היא מחזירה פורט תפוס, למשל פורט 80 (שיהיה תפוס בנובה). אתם יכולים לחשב לבד את ההסתברות שיש באג באיזור הזה של התוכנית בהנתן שהיא רצה כבר עשר או עשרים פעם ללא תקלות...

תוכלו לקרוא עוד על הגישה הזאת פה (מאת המתכנתים של נטפליקס):

https://medium.com/netflix-techblog/the-netflix-simian-army-16e57fbab116?

הערה על recv

אמרנו בכיתה ונזכיר שוב: אין הבטחה שקריאה בודדת ל-recv תחזיר את כל המידע שנשלח, גם אם המידע נשלח מהצד השני בקריאה בודדת ל-send. יש לעבור על המידע ולהבין מההקשר מתי ההודעה הסתיימה. (בתרגיל ההקשר הוא לספור כמה פעמים ראינו \r\n\r\n). למעשה, run_test.py מתעקש ושולח את המידע בשתי קריאות שונות ל-send, כשביניהן השהיה, על מנת לבדוק את ההתנהגות של הקוד שלכם במצב הזה. מומלץ לקרוא את run_test.py ולוודא שהבנתם את הפסקה האחרונה.

מהסיבות הנ"ל, מומלץ מאוד להריץ את הטסט 10-20 פעמים על מנת להשתכנע שאין בתרגיל באגים. (טכנית לא נוכל "להשתכנע" באופן וודאי, אולם הדבר לפחות מאפשר להסיק שההסתברות לבאג היא נמוכה.) במועד הבדיקה, הציפיה מהתרגיל היא לעבור את הטסט באופן חלק 10-20 פעמים, וזאת הבדיקה הראשונה שמתבצעת. ככלל, תרגילים שלא עומדים ברף הזה יחשבו כאילו הם לא עוברים את הטסט.

הקובץ BIND_RECV

לנוחותכם, ועל מנת להקל על שיתוף הפעולה בין שותפים, אנא צרו קובץ בשם BIND_RECV בתיקיית ההגשה, אשר מכיל שורה אחת ובה רצף התווים BIND_RECV. כך תוכלו להיות בטוחים שלפחות אחד מהשותפים נתן את דעתו על הצורך לבצע קריאות חוזרות לשתי הפונקציות הללו, ושלא תאבדו נקודות סתם. הטסט האוטומטי של התרגיל אוכף זאת.

הערות נוספות ובאגים פופולריים שכדאי להימנע מהם:

1. למען הסר ספק: אין בתרגיל מיקבול. ה-LB מחכה ללקוח, מסיים לטפל בו, ואז מחכה ללקוח חדש. אתם בטח תוהים מה בעצם השגנו אם אמרתי מראש שרוצים לבצע כמה חישובים במקביל על כמה מחשבים, ואז בסוף ה-LB מטפל בכל חישוב בנפרד – התשובה היא שנהוג לפתור את הבעיה הזאת בעזרת הפונקציה select, שאולי נספיק ללמוד הסמסטר ואולי לא.

2. שימו לב שה-LB לא צריך "לדעת HTTP", כלומר הוא לא צריך להסתכל בתוכן של הבקשות או התשובות, אלא רק לקרוא עד \r\n\r\n. חבל לכתוב קוד מסובך יותר.

3. המלצה לצורת עבודה: התחילו מלכתוב את השרת, כך שיחכה בפורט קבוע, ואז התחברו מדפדפן לאותה כתובת, ו-ודאו שזה עובד. מומלץ לא לכתוב את השרת במכה אחת, אלא למשל לכתוב קודם שרת שמקבל בקשה ומדפיס אותה וזהו, ואז לחלץ מהבקשה את הכתובת המבוקשת ולהדפיס גם אותה, ואז להחזיר תשובה קבועה (למשל הדוגמה הנ"ל עם ה-abcde), ורק אז לממש את התשובה האמיתית.

4. אם אתם מריצים ידנית רק חלק מהפקודות מהטסט לצרכי דיבאג, הקפידו להריץ את כל פקודות ה-kill שבסוף הטסט לפני שאתם מתנתקים מנובה, ואין צורך להריץ את הפקודות disown במצב הזה. אם לא תקפידו לעשות זאת, התוכנות שלכם ימשיכו לרוץ ברקע ולתפוס משאבים יקרים על נובה, ותתחילו לקבל המון מיילים אוטומטיים על כך.

5. זה בד"כ באג לקרוא פעמיים ל-srand באותה תוכנית. ל-srand קוראים פעם אחת בתחילת התוכנית, ומשם קוראים רק ל-rand. מי שעושה אחרת, מסתכן בבאג שמאוד לא נעים לדבג.

6. מומלץ להשתמש באופציה SO_REUSEADDR על סוקטים לפני הקריאה ל-bind. אופציה זו מאפשרת לכם לעשות bind שוב ושוב על אותו פורט ביותר קלות. קיראו על האופציה הזו ב-man.

7. באג שחזר בשנים קודמות הוא קריאה ל-recv עם ארגומנט אורך שהוא strlen של הבאפר אליו רוצים לקבל את המידע. ברגע שאתם כותבים קוד כזה, כמעט בוודאות יש לכם באג, ונסביר למה: strlen מקבלת כתובת, ומתחילה לסרוק את הזיכרון החל ממנה, תו אחרי תו, עד שהיא מגיעה לתו \0 הראשון. לעומת זאת, מה שאתם רוצים להעביר ל-recv הוא גודל הזיכרון המוקצה. strlen יכולה להחזיר גודל קטן יותר אם במקרה יש תו 0 באמצע הזיכרון המוקצה, או גודל גדול יותר אם אין תו 0 בזיכרון המוקצה כלל, ואז היא תמשיך לסרוק את כל הזיכרון עד שהיא מוצאת תו 0 (תיאורטית היא יכולה להחזיר גדלים אדירים במקרה שלא היה שום תו 0 בהמשך, בפועל כמעט תמיד יהיה אחד כזה בהמשך והיא פשוט תחזיר גודל שגוי).

8. במקרה שמעבירים ל-recv ארגומנט אורך קבוע, הארגומנט הזה צריך להיות ניתן לשינוי בעזרת #define, וערכו בגירסה שאתם מגישים צריך להיות לפחות 100.

9. הערה לגבי השורה הראשונה בקובץ הפייתון – כזכור, היא צריכה להיות

```
#!/usr/bin/python2.7 -tt
```

אם כתבתם את השרת בפייתון וערכתם את הקובץ בווינדוס, יש סיכוי שיש לכם את התו \r בסוף השורה הראשונה, מה שגורם ללינוקס לנסות להריץ את הקובץ בעזרת התוכנית הלא קיימת python2.7\r, ואז להדפיס
No such file or directory :
מומלץ להוסיף את השורה הזו רק כשעברתם סופית לכתוב את הקוד בלינוקס, ובכל מקרה, אם הודעת השגיאה הנ"ל מודפסת, כדאי להריץ את התוכנה dos2unix על הקובץ, מה שמסיר \r בסופי שורות. כמו כן, הסוויץ' –tt גורם לפייתון לא להסכים להריץ את הקוד שלכם במקרה שהוא מערבב בין רווחים וטאבים, וזה עשוי לחסוך לכם שעות ארוכות של דיבוג מייאש.

10. סעיף זה בא רק לסבר את האוזן, ולא רלבנטי לפתרון התרגיל: הפורמט של תשובת HTTP שמוגדר בתרגיל שונה במעט מהפורמט במציאות: תשובת HTTP במציאות לא מכילה את רצף הסיום גם בסוף, אלא רק באמצע. על מנת לקרוא את התשובה במלואה, יש לקרוא את השדה -Content

length שמופיע במהלך החלק הראשון שלה. השינוי שכלול בתרגיל בא להקל על קריאת התשובה. בכל מקרה, פורמט התשובה כפי שהוא מופיע בתרגיל הוא מה שמחייב אתכם.

11. התחום של load balancing הוא הרבה יותר מורכב מהתרגיל, אז לא מומלץ להגיד שאתם מבינים ב-load balancing רק על סמך התרגיל הזה בראיונות עבודה, למשל. אלו מכם שרוצים להעמיק בתחום ה-load balancing יכולים להתחיל מהמאמר-בלוג הזה:
https://blog.cloudflare.com/unimog-cloudflares-edge-load-balancer/

בהצלחה!