

# מטלת מנחה (ממ"ן) 11

הקורס: "מערכות הפעלה"

חומר הלימוד למטלה: ראו פירוט בסעיף "רקע"

משקל המטלה: 10

מספר השאלות: 5

מועד אחרון להגשה: 25.11.2023

סמסטר: 2024א

הגשת המטלה: שליחה באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס.  
הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות מנחה".

**החלק המעשי (70%)**

**כללי**

בתרגיל זה נכיר את מבנה של מערכת הפעלה בכלל ומערכת הפעלה XV6 בפרט. מערכת הפעלה XV6 היא מערכת ממשפחת LINUX שפותחה לצורכי לימוד ע"י MIT. היא הרבה יותר פשוטה והרבה פחות נוחה(תרגישו את זה מיד בשימוש בה אפילו ב CLI שלא מאפשר שימוש בחצים למשל), אבל מצד שני מאפשרת להבין את קוד מערכת הפעלה ולשנות אותו בקלות יחסית. היא לא מושלמת ויש בה באגים!

**מטרות:**

- הכרת מערכת הפעלה xv6
- הכרת ההיבטים המעשיים של מימוש קריאות מערכת
- הכרת מבני נתונים שונים של מערכת הפעלה
- הוספת קריאת מערכת חדשה
- הוספת פקודת מערכת חדשה ps שמדפיסה את מצב תהליכים במערכת
- התנסות בבניה והרצה של מערכת הפעלה בצורה הקרובה למציאות(כשלא כל המידע זמין וצריך להבין ולמצוא אותו לבד) !

**רקע**

א) פרק Makefile מחוברת "Ubuntu 16.04 programming environment, making first steps" (הורידו את החוברת מאתר הקורס).

ב) "Running and debugging xv6.pdf" (באנגלית, כולל הוראות דיבוג משורת הפקודה) ו/או "XV6 Instalation and EclipseConfig.pdf" (בעברית, מאחד התלמידים, כולל דיבוג ב ECLIPSE) מתוך maman11.zip.

התקינו את המכונה הוירטואלית מאתר הקורס ואת QEMU בתוך המכונה הוירטואלית שלכם לפי ההוראות בקובץ הנ"ל, סיסמת המנהל password .

(ג) פרק 0 (עד PIPES בע' 13), פרק 1 ופרק 3 (עד X86 protection בע' 40)

מתוך <https://pdos.csail.mit.edu/6.828/2018/xv6/book-rev11.pdf> .

אין צורך להתייחס לענייני ניהול זיכרון ראשי.

(ד) expect - שפת סקריפט אינטראקטיבית : <https://likegeeks.com/expect-command> .

תתקינו את expect במכונה הוירטואלית שלכם (סיסמת המנהל password) :

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get install expect
```

(ה) במידת הצורך סרטונים על שימוש ודיבוג ב Xv6 מאתר הקורס (בחלק ממ"נים). מספרי הממ"נים והדוגמאות בהם לא זהים לתוכן המטלות.

### תיאור המשימה

בקובץ `maman11.zip` תמצאו ספרייה עם מערכת ההפעלה `xv6` שאין בה פקודה `ps` ואין קריאת מערכת הדרושה לביצועה.

### הסבר מפורט

1. הפעילו את מערכת ההפעלה `xv6` כמתואר בסעיף ב' של "חומר קרע". הריצו את תוכנת `ps`, תקבלו את

התמונה הבאה:

```
cpu1: starting 1
cpu0: starting 0
sb: size 2000 nblocks 1954 ninodes 200 nlog 30 logstart 2 inodestart 32 bmap s
tart 45
init: starting sh
$ ps
exec ps failed
$
```

הסיבה לשגיאה היא שפקודה `ps` כלל לא קיימת במערכת.

תוצאת ההרצה צריכה להיות:

```
cpu1: starting
cpu0: starting
sb: size 1000 nblocks 941 ninodes 200 nlog 30 logstart 2 inodestart 32 bmap st
art 58
init: starting sh
$ ps
name      pid    state    ppid
init       1      SLEEPING    0
sh         2      SLEEPING    1
ps         3      RUNNING    2
$
```

אפשר להריץ את פתרון ביה"ס לפי ההוראות שבתוך ה ZIP עם הפתרון ולראות את ההדפסה בפועל.

אפשר להריץ בשורת הפקודה של Xv6 פקודת `sh` ואחריה שוב `ps` ולראות שנוסף עוד תהליך.

כדאי לעקוב אחרי מספרי ה PID ו PPID ולהבין מי בן של מי ולמה. כמו כן מה התפקיד של תהליכים שונים.  
 2. הוסיפו את קריאת המערכת הדרושה ואת פקודת המערכת ps (אחרי ההוספה היא תופיע בין פקודות המערכת). כדי ש ps תוכל לבצע את עבודתה, צריך להוסיף קריאת מערכת מתאימה, ראו בהמשך.  
 כדי שהמטלה לא תיראה קשה, כדאי להתחיל במדריך שעושה משהו דומה (אבל לא מטפל בהדפסת PPID):

[https://github.com/raj-maurya/xv6-public\\_modifiedOS](https://github.com/raj-maurya/xv6-public_modifiedOS)

ולמצוא בתוך [xv6-modified](#) רוב המטלה עשויה (כולל Makefile מתאים). צריך לבצע שינויים קטנים. ההסברים בהמשך יהיו הרבה יותר מובנים אחרי זה.

הדפסה מתוך הגרעין נעשית בעזרת cprintf ולא printf הרגילה. זה גם ההיגיון ששם קריאת מערכת של המטלה cps.C - פלט ישיר ל CONSOLE ולא ל STDOUT.  
 סרטון שמסביר את תהליך ההוספה (באנגלית) כולל שינוי ב Makefile:

<https://www.youtube.com/watch?v=21SVYiKhcwM>

כדאי להשתמש במדריך שלמעלה במידה נכונה ולא להפוך שתי פתרון המטלה להעתק הדבק בלבד!

- לקריאת המערכת צריך להיות שם cps1xx, כש xx הן 2 הספרות האחרונות של ת"ז של הסטודנט. לדוגמא, אם ת"ז 313567892 אז שם קריאת המערכת צריך להיות cps192 !!!
- מספר קריאת המערכת צריך להיות כמו (שווה) לספרות אחרי cps, 192 בדוגמא הנ"ל.
- לקובץ ps.c צריך להיות שם ללא תוספת ספרות (ps.c בלבד) !!!

### אופן ביצוע המטלה:

כדי לבצע את המטלה, צריך להכניס שינויים לקבצים:

proc.c, syscall.c, usys.S, sysproc.c, user.h, defs.h, ליצור קובץ חדש ps.c ולהוסיף אותו לתיקיה של XV6.

- בקובץ syscall.c מותר (וצריך) לשנות 2 שורות.
  - בקבצים user.h, defs.h מותר (וצריך) לשנות רק שורה/הכרזה/הצהרה/פקודה אחת.
  - בקבצים usys.S, sysproc.c, ps.c, proc.c מותר (וצריך) לשנות בהתאם לנדרש.
- אי עמידה בכללים תביא לפסילת החלק המעשי !!!

דרך הפתרון שונה במקצת ממדריכים, שימו לב שאסור לשנות (ולהגיש) את הקובץ syscall.h.  
 כדי להצליח במטלה ללא אפשרות לשנותו, צריך להבין את התפקיד ואת המשמעות של המבנה הנתונים הרלוונטי בקובץ syscall.c (שורות 112-134) ואיך "לעקוף" את המגבלה הנ"ל. בנוסף, צריך לבצע שינוי (הוספה) בקובץ usys.S, יש בו דוגמא לשינוי שנעשה כחוספה "ידנית" של קריאת מערכת FORK,

תפעלו בצורה דומה בשביל להוסיף קריאת מערכת הדשה. בקובץ **syscall.h** יש הערה לגבי קריאת מערכת FORK שמדמה את המצב שבמטלה כשאין אפשרות לשנות את תוכנו של הקובץ. חשוב לציין, **שהמגבלה** נועדה רק לגרום להבנה ולא מהווה דרך מקובלת להכניס שינויים לקוד המערכת. בנוסף, שימו לב שהפעולה עצמה של קריאת המערכת (מה שהיא מציגה) צריכה להיות שונה ממה שיש במדריכים.

**כדי להדפיס את שדה PPID** (לא ממומש בקישור הנ"ל) צריך למצוא אותו ב PCB של התהליך - מבנה struct proc בקובץ **proc.h**, שם השדה שונה (לא PPID), ניתן למצוא בקלות ע"פ ההערות. בשביל אחידות הפלטים בבדיקה, הדפסת שורת הכותרת של הפלט צריך לבצע בעזרת:

**שימו לב** לרווח בין \t ל \t // `cprintf("name \t pid \t state \t \t ppid \n");`

ואת הפלט עצמו כמו בתמונה ופתרון ביה"ס.

**שימו לב** שהשדה PPID המודפס של INIT צריך להיות 0 למרות שבשדה המחזיק את PPID ב PCB יש מספר אחר, אנחנו מניחים שלאבא של התהליך ראשון במרחב המשתמש יש  $PID = 0$ , צריך לממש את זה במטלה ולמצוא את הדרך לזהות את תהליך INIT. אצל השאר בשדה המחזיק את PPID מופיע מספר נכון.

- צריך להדפיס את כל התהליכים הקיימים. בשביל פשטות ואחידות הבדיקה **כל תהליך שלא נמצא במצב RUNNING אמיתי מודפס כ SLEEPING במשמעות NOT RUNNING**.

a. תקראו את ההסבר על תהליך הוספת קריאת מערכת ל Xv6 ואת תפקידים של הקבצים הרלוונטיים:

[https://viduniwickramarachchi.medium.com/add-a-new-system-call-in-xv6-](https://viduniwickramarachchi.medium.com/add-a-new-system-call-in-xv6-5486c2437573)

[5486c2437573](https://viduniwickramarachchi.medium.com/add-a-new-system-call-in-xv6-5486c2437573) הסבר הכי מתאים לצורכי המטלה בין מה שראיתי.

שימו לב שבד"כ בקובץ **sysproc.c** יש רק את "השלב" של קריאת המערכת שקורא לפונקציה עצמה שעושה את העבודה ונמצאת ב **proc.c**. בקישור למעלה קריאת המערכת קצרה מאוד, כמו שלד עצמו ולכן מיקמו אותה ב **sysproc.c**. בפתרון המטלה את הקוד ביצוע ממשי של קריאת המערכת צריך לשים ב **proc.c**.

ומתוך: <https://www.ics.uci.edu/~aburtsev/238P/hw/hw5-syscall/hw5-syscall.html>

רק פתיח ו קטע Considerations.

**שימו לב** שתהליך עשיית המטלה דומה, אבל שונה במקצת ממדריכים.

המטרה להבין את התהליך ולהכיר את התפקיד של קבצים שונים.

b. תשנו את ה Makefile בשביל שיתאים לשינויים. עדיף להכיר את השימוש הבסיסי ב Makefile

ולבצע את השינויים הנדרשים. במידת הצורך ניתן למצוא את Makefile מתאים בתוך הקבצים של

מערכת **xv6-modified** (קישור).

- c. אחרי ביצוע השינויים תריצו את המערכת מחדש, תבדקו שהמערכת החדשה (במקצת) מתפקדת כמצופה. תריצו ps ותראו שהפלט תקין.
- d. אחרי סיום המטלה צריכים להיות ברורים המושגים הבאים והבדלים ביניהם:  
מצב גרעין, מצב משתמש, קריאת מערכת, למה בכלל במקרה שלנו יש צורך בקריאת מערכת ולא מספיק תוכנית המשתמש, מספר קריאת מערכת, ממשק לקריאת מערכת, אופן הפעלה מעשית של קריאת מערכת (על פי מספר בעזרת INT), למה קריאת מערכת מופעלת בעזרת INT ולא סתם קריאה לפונקציה, פונקציה (קוד) המבצעת את קריאת מערכת, תוכנית המשתמש שמפעילה את קריאת המערכת. לשים לב שב XV6 יש 2 אימג'ים (IMAGES) שמדמים 2 מערכות קבצים, אחת של הגרעין והשנייה של מערכת עצמה עם אפשרות לשמור בה את הקבצים של משתמש.
- e. אופציונאלי, אבל חשוב מאוד: לדבג את עליית המערכת כמו שמוסבר בסרטון באתר ולעקוב אחרי השלבים של עליית הגרעין ומעבר למרחב המשתמש.
- f. אופציונאלי, אבל חשוב: להכיר את פעולת ה SHELL של המערכת (קובץ sh.c) ובפרט, זיהוי הפקודה, הבדל באופן ביצוע בין פקודות SHELL (הפקודות הפנימיות) לבין פקודות המערכת (יצירת התהליך המבצע בעזרת FORK והחלפת תוכנו לפקודת המערכת בעזרת EXEC).

#### בדיקה סופית

1. לאחר תיקון הבאג הריצו `make clean; make qemu`.  
וודאו בפעם נוספת שאתם מסוגלים להריץ את ps ושפלט של הפקודה תקין
2. כעת המשיכו לבדיקות regression שמטרתן לוודא כי כל הבדיקות (tests) עוברים בהצלחה. לשם כך כבו את QEMU.
3. התקינו expect (אם לא התקנתם לפני) - שפת סקריפט למיכון (automation) אינטראקציה עם פקודות shell ותוכנות אשר מורצות משורת הפקודה. לשם כך הריצו משורת הפקודה

```
sudo apt-get install expect
```

4. הריצו משורת הפקודה של מערכת ubuntu 16.04 מתוך התיקיה של xv6 פקודה הבאה:

```
./runtests.exp my.log
```

5. ודאו כי תוכנת סקריפט יצאה עם סטאטוס 0 מיד לאחר סיומה (ערך הסיום נכתב גם לקובץ).

```
$ echo $?
0
```

6. להכרות כללית עם expect מומלץ (לא חובה) לקרוא את פרק ד' של "חומר רקע".

פתרון ביה"ס

להריץ מתוך תיקיית הממ"ן את `make clean` ו `make qemuss`

**הגשה**

יש להגיש אך ורק את הקבצים שהיה צורך לשנות/להוסיף :

**( Makefile , user.h , sysproc.c , usys.S , syscall.c , proc.c , ps.c ) בלבד.**

אין להגיש קבצים נוספים ו/או מקומפלים. ראה הוראות הגשה כלליות בחוברת הקורס.

את הקובץ/הקבצים המוגשים יש לשים בקובץ ארכיון בשם `exYZ.zip` (כאשר YZ הנו מספר המטלה). עדיף

להכין את הארכיון בפורמט זיפ ZIP ב WINDOWS . אם אין אפשרות, ע"י הרצת הפקודה הבאה משורת

הפקודה של Ubuntu : `zip exYZ.zip <exYZ files>`

הערה חשובה : בתוך כל קובץ קוד שאתם מגישים יש לכלול כותרת(בהערה) הכוללת תיאור הקובץ, שם

הסטודנט ומספר ת.ז.

בדיקה לאחר הגשה

לאחר ההגשה יש להוריד את המטלה (חלק מעשי/עיוני) משרת האו"פ למחשב האישי לבדוק תקינות של

הקבצים המוגשים (לדוגמא, שניתן לקרוא אותם). בנוסף, הבדיקה של החלק המעשי תכלול את הצעדים

הבאים :

- פתיחת ארכיון `exXY.zip` בספרייה חדשה (*new folder*) .
- יצירת ספרייה חדשה עם הקוד המקורי של `xv6`
- העתקת הקובץ המוגש לספרייה עם הקוד המקורי של `xv6`
- הרצת `make qemu` ווידוא שכל ה `target` נוצר ללא שגיאות וללא *warnings*
- הרצת בדיקות רלוונטיות : וידוא תקינות הריצה של החלק המעשי

**החלק העיוני (30%)**

**שאלה 2 (5%)**

א) מהי פעולת ה TRAP? תארו מתי היא מתבצעת ומה קורה בעת ביצועה.

ב) הסבירו מה קורה בעת הקריאה לפונקציית `write` של ה C library . בפרט הסבירו כיצד עוברים הפרמטרים

של ה `write` למערכת הפעלה Linux וכיצד המערכת מטפלת ב `write`.

ג) מה ההבדל בין `write` ל `printf`? תוכלו להיעזר בקבצי מקור של C library מ [www.gnu.org/software/libc](http://www.gnu.org/software/libc)

## שאלה 3 (15%)

במערכת הפעלה LINUX קיים מנגנון איתותים (סיגנלים) SIGNALS חשוב ושימושי **שהשימוש בו בתוך אפליקציה יכול להיות סינכרוני ו/או א-סינכרוני**.

כדי להכיר את המנגנון תקראו את המאמר : <https://cs341.cs.illinois.edu/coursebook/Signals>

**תבינו היטב את ההבדל בין שימוש סינכרוני ל א-סינכרוני.**

בין קבצי הממ"ן יש קבצי קוד שמדגימים את השימוש הבסיסי בשתי צורות הסיגנלים. הקבצים באים רק לעזור, אין חובה להריץ אותם ולבצע את מה שבהערות, אך זה עוזר להבנת העניין. אם הכל ידוע או מובן בלי דוגמא, אין צורך אפילו להסתכל על הקודים האלה.

**א) ממשו את סמפור בינארי יחיד (ללא שם) על בסיס שימוש סינכרוני בסיגנל וללא שימוש במנגנוני סנכרון נוספים. הסמפור מיועד לשימוש ע"י מספר תהליכונים THREADS של אותו תהליך (לא תהליכים שונים).**

ממשו את הפונקציות הבאות בשפת C:

- `void sem_init(int status)` לאתחול הסמפור למצב מסומן (פתוח,  $= 1$ ) או לא מסומן (סגור,  $= 0$ ). כולל הכרזה ואתחול של משתנים לוקאליים.
- `void sem_down()` להורדה (סימון כתפוס, המתנה) של סמפור.
- `void sem_up()` לשחרור (סימון כדלוק/פנוי) של סמפור.
- הכרזה ואתחול של משתנים שחייבים להיות גלובאליים עם ציון בצורה חופשית שהם גלובליים.

**שימו לב שבצורת השימוש המדוברת, הסיגנל צריך להיות חסום לפני הפעלת `sigwait`.**

כמו כן, **שימו לב** שפונקציה `kill` שולחת סיגנל לתהליך המיועד **ולא הורגת** (חוץ מסיגנל ספציפי)! הסיגנל שנשלח לתהליך "מגיע" לכל ה THREADS שלו וה THREAD ויקבל (יתפוס) אותו ראשון, ינקח (ימחק) אותו מרשימת הסיגנלים הממתנים. הדרך **האוניברסאלית** לשליחת הסיגנל ללא משמעות קבוע במערכת לתהליך עצמו היא : `kill(getpid(), SIGUSR1);` . אפשר להשתמש בכל אפשרות תקינה אחרת. לצורך התרגיל הבסיסי ובשביל הפשטות אין צורך לחסום בנפרד לכל תהליכון THREAD , אלא לחסום בתוך התהליך שיחול על כל ה THREADS שיוצרו בתוכו (לחסום בתוך הפונקציה `sem_init(int status)`). אפשר (אך לא חובה) להיעזר בדוגמא :

<https://www.ibm.com/docs/en/zos/2.4.0?topic=functions-sigwait-wait-asynchronous-signal>

**אין חובה לכתוב תוכנית שלמה הכוללת יצירת THREADS והסנכרון ביניהם בעזרת הפונקציות שמימשותם, אך זה מוסיף להבנה וניסיון. בנוסף, כתיבתה והרצתה תאפשר לבדוק את נכונות הפתרון.**

**ב) האם בדרך דומה (ולא מסובכת משמעותית יותר) ניתן לממש את הסמפור המיועד לסנכרון בין מספר תהליכים? תנו נימוק מילולי, אין צורך בכתיבת קוד.**

## שאלה 4 (5%)

תקראו את [מאמר](#) שמסכם את הבדלים בין user threads ו kernel threads ואת [מאמר](#) שמסביר מודלים שונים של מימוש מנגנון threads . תענו לשאלות הבאות :

א. האם **M:1 model** מאפשר לנצל מספר ליבות במעבד CPU cores ? נמקו.

ב. האם ב **M:1 model** חסימת אחד מ user threads תגרום לחסימת כל התהליך? נמקו.

ג. מה המשמעות של מושגים user thread ו kernel thread ב **1:1 model** ?

#### שאלה 5 (5%)

הוכיחו כי בפתרון של Peterson ל 2 תהליכים, תהליכים אינם ממתניים זמן אינסופי על מנת להיכנס לקטע קריטי. בפרט הוכיחו כי תהליך שרוצה להיכנס לקטע קריטי לא ממתין יותר ממה שלקח לתהליך אחר להיכנס ולעזוב את הקטע הקריטי.

הגשת החלק העיוני

החלק העיוני יוגש כקובץ Word או pdf עם שם **exYZ.docx** או **exYZ.pdf** (כאשר YZ הנו מספר המטלה) **בתוך אותו zip עם החלק המעשי.** אין להגיש יותר מזיפ אחד בסה"כ!