

# תורת הקומפילציה

תרגיל בית 1 – בניית מנתח לקסיקלי

מתרגלת אחראית: ליאן מח'ול – layanmakhoul@campus.technion.ac.il

ההגשה בזוגות

עבור כל שאלה על התרגיל, יש לעין ראשית בפיאצה ובמידה שלא פורסמה אותה השאלה, ניתן להוסיף אותה ולקבל מענה, אין לשלוח מיילים בנושא התרגיל בית כדי שנוכל לענות על השאלות שלכם ביעילות.

**תיקונים לתרגיל יסומנו בצהוב**, חובתכם להתעדכן בהם באמצעות קובץ התרגיל.

התרגיל ייבדק בבדיקה אוטומטית. **הקפידו למלא אחר ההוראות במדויק**. הבדיקה תתבצע על שרת הקורס csComp.

## הנחיות כלליות

- בתרגיל זה תממשו מנתח לקסיקלי שיוכל לטפל בשפת FanC. שפה זו היא דומה לשפת C שאתם מכירים, הכוללת פעולות אריתמטיות, פונקציות, המרות ועוד.
- במנתח הלקסיקלי שתממשו נשתמש כדי ליצור תכנית הקוראת קלט מהמשתמש ומדפיסה מידע על האסימונים שהיא מצאה.
- יש להשתמש ב-flex בלבד (ולא ב-lex).

## הגדרות מושגים כלליים

- רווח לבן (whitespace) – אחד מבין: רווח (ספייס), טאב (`\t`), `CR` (התו `\r`), `LF` (התו `\n`).
- תווים ניתנים להדפסה (printable characters) – התווים שערך ה-ASCII שלהם בין `0x20` ל-`0x7E` (כולל את הקצוות), או רווחים לבנים:
  - ניתן לקרוא על תווים ניתנים להדפסה בהרחבה בוויקיפדיה בערך הבא:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII#Printable\\_characters](https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII#Printable_characters)
- רצף בריחה (escape sequence) – לוכסן אחורי (`\`) ואחריו תו או יותר שביחד מפורשים כתו אחד.
  - דוגמאות: `\n` – ירידת שורה, `\t` – טאב.
  - ניתן לקרוא על רצפי בריחה בהרחבה בוויקיפדיה בערך הבא:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Escape\\_sequences\\_in\\_C](https://en.wikipedia.org/wiki/Escape_sequences_in_C)

## הגדרת אסימונים

| שם האסימון | תיאור   | ערכים אפשריים | דוגמאות  | אנטי-דוגמאות         |
|------------|---|---------------|----------|----------------------|
| VOID       | המילה השמורה<br>void                                  | void          | void     | diov                 |
| INT        | המילה השמורה<br>לטיפוס מסוג<br>Integer                | int           | int      | long                 |
| BYTE       | המילה השמורה<br>לטיפוס מסוג<br>Byte                   | byte          | byte     | bit<br>nibble        |
| BOOL       | המילה השמורה<br>לטיפוס מסוג<br>Boolean                | bool          | bool     | boolean              |
| AND        | המילה השמורה<br>לאופרטור מסוג<br>and<br>(בשפת C: &&)  | and           | and      | And                  |
| OR         | המילה השמורה<br>לאופרטור מסוג<br>or<br>(בשפת C:   )   | or            | or       | Or<br>light          |
| NOT        | המילה השמורה<br>לאופרטור מסוג<br>not<br>(בשפת C: !)   | not           | not      | Not                  |
| TRUE       | המילה השמורה<br>לליטרל "אמת"                          | true          | true     | True<br>1            |
| FALSE      | המילה השמורה<br>לליטרל "שקר"                          | false         | false    | False<br>0           |
| RETURN     | המילה השמורה<br>לחזרה<br>מפונקציה                     | return        | return   | Return               |
| IF         | המילה השמורה<br>ל- if עבור מבנה<br>הבקרה של תנאי      | if            | if       | If<br>IF             |
| ELSE       | המילה השמורה<br>ל- else עבור<br>מבנה הבקרה<br>של תנאי | else          | else     | Else<br>ELSE         |
| WHILE      | המילה השמורה<br>עבור מבנה<br>הבקרה של<br>לולאת while  | while         | while    | While                |
| BREAK      | המילה השמורה<br>עבור עצירה<br>ויציאה מלולאה           | break         | break    | Break<br>BREAK       |
| CONTINUE   | המילה השמורה<br>עבור המשך<br>ריצת הלולאה              | continue      | continue | Continue<br>CONTINUE |
| SC         | נקודה פסיק  | ;             | ;        |                      |
| COMMA      | פסיק  | ,             | ,        | .                    |
| LPAREN     | סוגר שמאלי  | (             | (        | [                    |

|                     |                                |   |                       |         |
|---------------------|--------------------------------|---|-----------------------|---------|
| ]                   | )                              | )   | סוגר ימני             | RPAREN  |
| <                   | {                              | {   | סוגר מסולסל שמאלי     | LBRACE  |
| >                   | }                              | }   | סוגר מסולסל ימני      | RBRACE  |
| ==                  | =                              | =   | אופרטור השמה          | ASSIGN  |
| >_<<br><>           | ==<br>!=<br><<br>><br><=<br>>= | ==<br>!=<br><<br>><br><=<br>>=  | אופרטור רלציוני       | RELOP   |
| ?<br>:              | +<br>-<br>*<br>/               | +<br>-<br>*<br>/  | אופרטור בינארי        | BINOP   |
| /* my<br>comment */ | // my comment                  | מתחילה ב-// שמופיע מחוץ<br>למחרוזת, ואחרי שני הלוקסנים יכול<br>לבוא כל תו מלבד ירידת שורה: LF,<br>CR או CRLF.   | הערת שורה             | COMMENT |
| 12AB<br>42<br>big_x | x<br>max<br>007                | צריך לעמוד בכללים הבאים:<br>- יכול להכיל אותיות אנגליות<br>קטנות וגדולות ומספרים<br>בלבד.<br>- על המזהה להתחיל עם אות<br>אנגלית (קטנה או גדולה).<br>- על המזהה להכיל תו אחד<br>לפחות. | מזהה<br>(Identifier)  | ID      |
| 050<br>5.6          | 0<br>102                       | צריך לעמוד בכללים הבאים:<br>- אפסים מובילים אסורים<br>(ראה דוגמא אסורה).<br>- על המספר להכיל תו אחד<br>לפחות.   | מספר שלם              | NUM     |
| 050b<br>5.6b<br>50  | 0b<br>102b                     | צריך לעמוד בכללים הבאים:<br>- אפסים מובילים אסורים.<br>- על המספר להכיל תו אחד<br>לפחות.<br>- על המספר להסתיים עם תו<br>.b  | מספר שלם עם<br>B עוקב | NUM_B   |

|                     |                         |  |        |        |
|---------------------|-------------------------|--|--------|--------|
| 'unmatching'        | "simple"                | אוסף תווים בתוך מרכאות כפולות.<br>הערות:   | מחרוזת | STRING |
| "unclosed           | "also 'simple'"         | 1. אורך המחרוזת יכול להיות בגודל אפס או יותר.  |        |        |
| "2-lined<br>String" | "escape new<br>lines\n" | 2. ניתן להניח כי אורך המחרוזת בלי המרכאות לא עולה על 1024 תווים.                             |        |        |
| "ba--d"             | "hex \x10"              | 3. ניתן לכלול כל <a href="#">תו הניתן להדפסה פרט</a> לתווים הבאים:                           |        |        |
| "bad \\<br>escape"  | "hex2 \x02"             | a. לוכסן אחורי: \  |        |        |
|                     | "hex2 \x3A"             | b. מרכאות כפולות: "  |        |        |
|                     | "hi\thow\tare\tyou"     | c. תו LF: \n (כאשר הוא מגיע כתו בודד)  |        |        |
|                     |                         | d. תו CR: \r (כאשר הוא מגיע כתו בודד)  |        |        |
|                     |                         | אלא אם כן הם מגיעים כחלק מרצף <a href="#">בריחה</a> תקין.                                    |        |        |
|                     |                         | רשימת <a href="#">רציפי בריחה</a> תקינים:  |        |        |
|                     |                         | a. \\  |        |        |
|                     |                         | b. \"  |        |        |
|                     |                         | c. \n  |        |        |
|                     |                         | d. \r  |        |        |
|                     |                         | e. \t  |        |        |
|                     |                         | f. \0  |        |        |
|                     |                         | g. \xDD כאשר DD מייצג ספרה הקסדצימלית  |        |        |
|                     |                         | אופן הטיפול ברצפי <a href="#">בריחה</a> יוסבר בהמשך, בחלק של <a href="#">הדפסת הלקסמות</a> . |        |        |
|                     |                         | שימו לב: כל <a href="#">רצף בריחה</a> שאינו ברשימה הנ"ל מהווה <a href="#">קלט לא חוקי</a> .  |        |        |

## הוראות התרגיל

עליכם לכתוב תכנית שתממש מנתח ותכתב בקובץ בשם main.cpp.

בתכנית זו תשתמשו בפונקציה yylex() שנוצרת ע"י flex ועליה לעמוד בדרישות הבאות:

- המנתח יתעלם מכל [הרווחים הלבנים](#), חוץ מבתוך מחרוזת.
- כאשר המנתח מזהה אסימון, יש לפלוט מידע על האסימון על ידי קריאה לפונקציה printToken(lineno, token, value) המסופקת לכם בקבצי output.hpp/cpp.

כאשר:

- lineno – מספר השורה בה האסימון **מסתיים**.
- token – מזהה אסימון מהקובץ token.hpp המסופק לכם (לפי השמות בחלק [הגדרת אסימונים](#) למעלה)
- value – ערך האסימון שזוהה, כלומר הלקסמה, פרט למקרה של [הערות](#) ו[מחרוזות](#), כמוסבר להלן.
- ניתן להניח שכל הערכים המספריים בתרגיל ניתנים לאחסון על ידי הטיפוס int.

למשל, עבור אסימון ID אשר זוהה עבור לקסמה x בשורה 12, יש לבצע את הקריאה הבאה:

```
output::printToken(12, ID, "x");
```

## הדפסת הלקסמה של מחרוזות

מחרוזות יודפסו ללא המרכאות הכפולות המקיפות אותן.

נטפל ברצפי הבריחה באופן הבא:

- `\n`, `\r`, `\t` מוחלפים בסוג המתאים של רווח לבן (טאב, CR, LF)
- `\\` מוחלפת בלוחסן אחורי יחיד (`\`)
- `\"` מוחלפת במרכאות כפולות (`"`)
- [רצף בריחה](#) של תו ASCII (`\xDD`) מוחלף בתו בעל ערך ה-ASCII אשר מייצג את הרצף ההקסדצימלי. כך למשל, עבור הרצף `\x41` יודפס התו A. אם הרצף מהווה ייצוג הקסדצימלי של תו אשר לא [ניתן להדפסה](#), יש להדפיס [שגיאה מתאימה](#) (ראה סעיף טיפול בשגיאות).
  - הרצף ההקסדצימלי יכול להיות מורכב גם מאותיות קטנות וגם מאותיות גדולות. כלומר, `\x6A` ו-`\x6a` שקולים.
  - דוגמה – הקלט הבא:  
`"Hello \x57orld!\r\nThis\tis\t\x63oo\x6C, as always."`  
תודפס באופן הבא:

```
1 STRING Hello World!  
This is cool, as always.
```

## הדפסת הלקסמה של הערות

ניתן להעביר כל ערך עבור הפרמטר `value`, פונקציית ההדפסה תתעלם ממנו במקרה של הערה ותדפיס `//`.

## קלט ופלט המנתח

המנתח יקבל את הקלט מהערוץ הסטנדרטי לקלט (`stdin`). `flex` משתמש בערוץ הקלט הסטנדרטי כברירת מחדל.

יש להיעזר בקבצי `output.hpp/.cpp` המצורפים לתרגיל על מנת לייצר פלט הניתן לבדיקה אוטומטית.

ניתן קבצי פלט לדוגמא. יש לבדוק כי המנתח שלכם פולט פלט זהה אליהם. הבדלים יגרמו לכישלון הבדיקות האוטומטיות.

## טיפול בשגיאות

ניתן להניח כי הקלט מכיל [שגיאה אחת לכל היותר](#).

על מנת לדווח על שגיאות יש להשתמש בפונקציות הנתונות בקובץ **`output.hpp`**:

המנתח נתקל בתו לא חוקי `errorUnknownChar (character)`

שורה מסתיימת באמצע מחרוזת `errorUnclosedString ()`

מחרוזת מכילה [רצף בריחה](#) שלא מופיע בהגדרת התרגיל. `errorUndefEscape (sequence)`  
למשל, עבור המחרוזת אשר מכילה את הרצף `\q` הפרמטר `sequence` יהיה `q`.

עבור מקרה בו הרצף `\x` מלווה בתווים שאינם מייצגים ערך הקסדצימלי או ערך הקסדצימלי מייצג תו אשר לא [ניתן להדפסה](#) או שהמחרוזת נגמרת לפני שניתן לקרוא 2 תווים לאחר ה-`x` (למשל עבור המחרוזת `"hey \xF"`) או שהתו המיוצג לא ניתן להדפסה (למשל עבור המחרוזת `"\xFF"`), הודעת השגיאה תכיל את [רצף הבריחה](#) המלא.  
כך, עבור הרצף `\xFF` ה-`sequence` יהיה `xFF`.

## הערות נוספות על התרגיל

- בתרגיל זה תדרשו לכתוב קובץ `lex` יחיד בשם `scanner.lex`. שימרו עליו פשוט, וממשו את הלוגיקה הרצויה בקבצי ה-`cpp`.
- באופן דיפולטי, הפונקציה `yylex()` מחזירה טיפוס `int`, וחוזרת למשתמש כאשר קיימת פקודת `return` ב-`action` של האסימון. (ראו שקף 23 בתרגול על המנתח הלקסיקלי).
- לתרגיל מצורף קובץ בשם `tokens.hpp` המכיל טיפוס `enum` הכולל בתוכו את כל האסימונים. ביצוע `include` לקובץ זה הן בקובץ `scanner.lex` והן בקבצי ה-`cpp` מאפשר "תקשורת" בין המנתח ש-`flex` יוצר לבין התכנית שתכתבו. כלומר, התכנית שתכתבו תדע להבין אילו אסימונים המנתח מחזיר.
- לדוגמא, נניח כי יש לנו אסימון בשם `FOR`, לכן נוכל לכתוב בקובץ ה-`scanner.lex` ב-`rules section`:  

```
for return FOR
```
- ואילו בקובץ ה-`cpp`:  

```
if (yylex() == FOR) {...}
```
- בנוסף, קובץ ה-`tokens.hpp` מכיל הגדרות שיאפשרו לכם להשתמש בפונקציה `yylex()` ובמשתנים `yylineno`, `yytext`, `yylen`.
- לתרגיל מצורף קובץ טמפלייט `main.cpp` המכיל את לולאת הקריאה ל-`yylex()`. העזרו בו.
- מומלץ להיוועץ ב-`manual` של `flex` לצורך ביצוע התרגיל. קל יותר לבצע אותו על ידי שימוש ביכולות מתקדמות של `flex` שלא נלמדו בתרגולים כגון `regex patterns` מתקדמים ו-`debug mode`.
- **טיפ:** תוכלו להשתמש באתר <https://regex101.com> שעוזר בהבנה ובבנייה של תבניות `regex` מורכבות.
- **טיפ:** כעקרון, לא תבדקו על דליפות זיכרון, איכות קוד, וכדומה. ועדיין, מומלץ לבדוק עם `valgrind`, לקמפל עם `-Wall -Wextra -Wmissing-declarations`, ולשנות את הקוד כדי לצמצם דליפות ואזהרות.

## הערות נוספות על תווים בקובץ

ניתן להניח כי קבצי הדוגמאות הם קבצי ASCII בלבד (כלומר: אינם UTF-8 או UTF-16). בהכינכם קבצי בדיקה, וודאו כי אתם מכוונים את ה-Encoding של הקובץ ל-ASCII או ANSI, או מבצעים save as כ-ASCII.

לנוחותכם, וכדי למנוע בעיות בהעתקה בין קבצים, להלן מפתח של התווים המוזכרים בתרגיל וערכי ה-ASCII שלהם:

| שם                | סימן | ערך ASCII (hex) |
|-------------------|------|-----------------|
| סוגר מרובע שמאלי  | [    | 5B              |
| סוגר מרובע ימני   | ]    | 5D              |
| סוגר מסולסל שמאלי | {    | 7B              |
| סוגר מסולסל ימני  | }    | 7D              |
| נקודותיים         | :    | 3A              |
| שווה              | =    | 3D              |
| סימן קריאה        | !    | 21              |
| לוכסן אחורי       | \    | 5C              |
| סולמית            | #    | 23              |
| נקודה פסיק        | ;    | 3B              |
| מינוס / מקף       | -    | 2D              |
| פלוס              | +    | 2B              |
| פסיק              | ,    | 2C              |
| קו תחתון          | _    | 5F              |
| נקודה             | .    | 2E              |
| גרש               | '    | 27              |
| מרכאות כפולות     | "    | 22              |
| Carriage return   | CR   | 0D              |
| Line feed         | LF   | 0A              |
| רווח              |      | 20              |
| טאב               |      | 09              |
| שטרודל            | @    | 40              |
| סוגר משולש ימני   | >    | 3E              |
| טילדה             | ~    | 7E              |
| כוכבית            | *    | 2A              |
| לוקסן (סלש)       | /    | 2F              |

קבצי הטסט זמינים בקובץ zip ומומלץ תמיד להוריד ולהעביר אותם כ-zip על מנת למנוע שינוי אוטומטי של ירידות השורה על ידי תוכנות להעברת קבצים.

## הוראות הגשה

מסופק לכם קובץ Makefile שאיתו תקומפל ההגשה שלכם. שימו לב כי קובץ ה-Makefile מאפשר שימוש ב-STL. אין לשנות את ה-Makefile.

יש להגיש קובץ אחד בשם ID1-ID2.zip, עם מספרי ת"ז של שתי המגישות. על הקובץ להכיל:

- קובץ flex בשם scanner.lex המכיל את כללי הניתוח הלקסיקלי.
- את כל הקבצים הנדרשים לבניית המנתח, כולל קבצים שסופקו כחלק מהתרגיל אם בחרתם להשתמש בהם.

בנוסף, יש להקפיד שהקובץ לא יכיל את:

- קובץ ההרצה.
- קבצי הפלט של flex.
- קובץ Makefile שסופק כחלק מהתרגיל.

יש לוודא כי בביצוע unzip לא נוצרת תיקיה נפרדת. על המנתח להיבנות על השרת csComp ללא שגיאות באמצעות קובץ Makefile שסופק עם התרגיל. באתר הקורס מופיע קובץ zip המכיל קבצי בדיקה לדוגמה. יש לוודא כי פורמט הפלט זהה לפורמט הפלט של הדוגמאות הנתונות. כלומר, ביצוע הפקודות הבאות:

```
unzip id1-id2.zip
cp path-to/Makefile .
cp path-to/hw1-tests.zip .
unzip hw1-tests.zip
make
./hw1 < t1.in 2>&1 > t1.res
diff t1.res path-to/t1.out
```

ייצור את קובץ ההרצה בתיקיה הנוכחית ללא שגיאות קומפילציה, יריץ אותו, ו-diff יחזיר 0.

**הגשות שלא יעמדו בדרישות לעיל יקבלו ציון 0 ללא אפשרות לבדיקה חוזרת.**

בדקו היטב שההגשה שלכן עומדת בדרישות הבסיסיות הללו לפני ההגשה עצמה.

**שימו לב** כי באתר מופיע script לבדיקה עצמית לפני ההגשה בשם selfcheck. תוכלו להשתמש בו על מנת לוודא כי ההגשה שלכם תקינה.

בתרגיל זה (כמו בתרגילים אחרים בקורס) **יבדקו העתקות**. אנא כתבו את הקוד שלכם בעצמכם.

בהצלחה! 😊