

# תורת הקומפילציה

תרגיל בית 1 – בניית מנתח לקסיקלי

מתרגל אחראי: מתן פלד – [mip@cs.technion.ac.il](mailto:mip@cs.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.

## הנחיות כלליות

- בתרגיל זה תממשו מנתח לקסיקלי שיוכל לטפל בשפת FanC. שפה זו היא subset של שפת 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.
- התרגיל ייבדק אוטומטית. הקפידו אחר ההוראות במדויק. הבדיקה תתבצע על csComp אליו ניתן להתחבר דרך SSH לשרת csl3 בכתובת [csl3.cs.technion.ac.il](https://csl3.cs.technion.ac.il) באמצעות שם המשתמש והסיסמא הטכניונים שלכם. לאחר מכן תוכלו לבצע את הפקודה: `ssh <user>@csComp` שתחבר אותכם לשרת csComp.
- יש להשתמש ב-flex בלבד (ולא ב-lex)

## הגדרות מושגים כלליים

- רווח לבן – אחד מבין: רווח (ספייס), טאב, CR (התו `\r`), LF (התו `\n`).
- תווים ניתנים להדפסה – התווים שערך ה-ascii שלהם בין `0x20` ל-`0x7E`, או רווחים לבנים: טאב (`0x09`), LF (`0x0A`), CR (`0x0D`) (רווח רגיל נכלל בתוך הטווח)
  - 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 void	void	void	diov
INT	המילה השמורה לטיפוס מסוג Integer	int	int	long
BYTE	המילה השמורה לטיפוס מסוג Byte	byte	byte	bit nibble
B	המילה השמורה לייצוג ליטרל מסוג Byte	b	b כאשר בפועל נשתמש בה בצמוד לליטרל. לדוגמא: 18b	d
BOOL	המילה השמורה לטיפוס מסוג Boolean	bool	bool	boolean
AND	המילה השמורה לאופרטור מסוג and (בשפת C: &&)	and	and	And
OR	המילה השמורה לאופרטור מסוג or (בשפת C:   )	or	or	Or light
NOT	המילה השמורה לאופרטור מסוג not (בשפת C: !)	not	not	Not
TRUE	המילה השמורה לליטרל "אמת"	true	true	True 1
FALSE	המילה השמורה לליטרל "שקר"	false	false	False 0
RETURN	המילה השמורה לחזרה מפונקציה	return	return	Return
IF	המילה השמורה ל- if עבור מבנה הבקרה של תנאי	if	if	If IF
ELSE	המילה השמורה ל- else עבור מבנה הבקרה של תנאי	else	else	Else ELSE
WHILE	המילה השמורה עבור מבנה הבקרה של לולאת while	while	while	While
BREAK	המילה השמורה עבור עצירה ויציאה מלולאה	break	break	Break BREAK

Continue CONTINUE	continue	continue	המילה השמורה עבור המשך ריצת הלולאה	CONTINUE
	;	;	נקודה פסיק	SC
.	,	,	פסיק	COMMA
[	(	(	סוגר שמאלי	LPAREN
]	)	)	סוגר ימני	RPAREN
<	{	{	סוגר מסולסל שמאלי	LBRACE
>	}	}	סוגר מסולסל ימני	RBRACE
==	=	=	אופרטור השמה	ASSIGN
>_< _<>	== != < > <= >=	== != < > <= >=	אופרטור רלציוני	RELOP
? :	+ - * /	+ - * /	אופרטור בינארי	BINOP
/* my comment */	// my comment	מתחילה ב- // שמופיע מחוץ למחרוזת, ואחרי שני הלוקסנים יכול לבוא כל תו מלבד ירידת שורה: LF, CR או CRLF	הערת שורה	COMMENT
12AB 42 big_x	x max 007	צריך לעמוד בכללים הבאים: - יכול להכיל אותיות אנגליות קטנות וגדולות ומספרים בלבד. - על המזהה להתחיל עם אות אנגלית (קטנה או גדולה). - על המזהה להכיל תו אחד לפחות.	מזהה (Identifier)	ID
050 5.6	0 102	צריך לעמוד בכללים הבאים: - אפסים מובילים אסורים (ראה דוגמא אסורה) - על המספר להכיל תו אחד לפחות	מספר שלם	NUM
"unmatching" "unclosed" "2-lined String" "ba-"-d" "bad \ escape"	"simple" "also 'simple'" "escape new lines\n" "hex \x10" "hex2 \x02" "hex2 \x3A" "hi\thow\tare\tyou"	אוסף תווים בתוך מרכאות כפולות. הערות: 1. אורך המחרוזת יכול להיות בגודל אפס או יותר. 2. ניתן לכלול כל תו ASCII הניתן להדפסה <u>פרט</u> לתווים הבאים: a. לוכסן אחורי: \ b. מרכאות כפולות: " c. תו LF: \n (כאשר הוא מגיע כתו בודד) d. תו CR: \r (כאשר הוא מגיע כתו בודד)	מחרוזת	STRING

		<p>אלא אם כן הם מגיעים  כחלק מ- escape sequence  תקין.  3. רשימת escape sequence  תקנים:</p> <p>\\ .a  \" .b  \n .c  \r .d  \t .e  \0 .f  \ddd כאשר dd מייצג ספרה  הקסדצימלית</p> <p>אופן הטיפול ב- escape sequence  יוסבר בהמשך, בחלק של הדפסת  האסימונים.  שימו לב: כל רצף בריחה שאינו  ברשימה הנ"ל אינו מהווה קלט חוקי.  ניתן להניח שהאורך של מחרוזת בלי  המרכאות לא עולה על 1024 תווים.</p>		
--	--	---	--	--

## הוראות התרגיל

עליכם לכתוב תכנית שתממש מנתח ותכתב בקובץ בשם hw1.cpp.  
בתכנית זו תשתמשו בפונקציה yylex() שנוצרת ע"י flex ועליה לעמוד בדרישות הבאות:  
המנתח יתעלם מכל הרווחים הלבנים, חוץ מבתוך מחרוזת.  
ניתן להניח שכל הערכים המספריים בתרגיל ניתנים לאחסון על ידי הטיפוס int.  
כאשר המנתח מזהה אסימון, יש לפלוט שורה בפורמט הבא (יש לדאוג לרווח יחיד בין כל רכיב שורה ולירידת  
שורה ע"י LF (\n) בלבד לאחר הרכיב האחרון):

```
<line number> <token name> <value>
```

כאשר:

- line number – מספר השורה בה האסימון **מסתיים**
- token – שם האסימון שזוהה (לפי השמות בחלק "הגדרת אסימונים" למעלה)
- value – ערך האסימון שזוהה, כלומר הלקסמה, פרט למקרה של הערות ומחרוזות, כמוסבר להלן

## 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 (\ddd) – יודפס התו בעל ערך ה- ASCII אשר מייצג את הרצף  
ההקסדצימלי. כך למשל, עבור הרצף \x41 יודפס התו A.

- אם הרצף מהווה ייצוג הקסדצימלי של תו בטווח 0x00-0x7F יש להדפיס את התו המתאים במקום רצף הבריחה. אחרת, יש להדפיס שגיאה (ראה סעיף טיפול בשגיאות).

○ דוגמה – המחרוזת הבאה:

```
"Hello \x57orld!\r\nThis\tis\t\x63oo\x6C, as always."
```

תודפס בפורמט הנדרש באופן הבא:

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

### הדפסת הלקסמה של הערות:

במקום תוכן הערה, יש להדפיס שני לוכסנים קדמיים - //

### קלט פלט לדוגמא

עבור הקלט:

```
byte x = 15b;
print("Hello\nyou!");
```

פלט המנתח יהיה:

```
1 BYTE byte
1 ID x
1 ASSIGN =
1 NUM 15
1 B b
1 SC ;
2 ID print
2 LPAREN (
2 STRING Hello
you!
2 RPAREN )
2 SC ;
```

### טיפול בשגיאות

**הערה:** אחרי הדפסת ההודעה המתאימה לשגיאה הראשונה בה נתקלתם, יש לסיים את התכנית (היעזרו בפקודה exit(0)). במקרה הקצה של מחרוזת לא סגורה שמכילה רצף escape שלא מופיע בהגדרת התרגיל או תו לא חוקי, העדיפות של השגיאות לא מוגדרת, ובחירת השגיאה עבורה תדפיסו הודעה נתונה לשיקולי מימוש (מתוך השגיאות שמופיעות אחרי ה-" הפותח של המחרוזת ועד סוף השורה).

1. כאשר המנתח נתקל בתו לא חוקי יש להדפיס:

```
Error <char>\n
```

כך שעבור הקלט הבא:

```
@
```

הודעת השגיאה תהיה:

```
Error @\n
```

(\ מסמל תו ירידת שורה)

2. כאשר שורה מסתיימת באמצע מחרוזת, יש להדפיס:

```
Error unclosed string\n
```

3. כאשר מחרוזת מכילה רצף escaping שלא מופיע בהגדרת התרגיל, יש להדפיס:

```
Error undefined escape sequence <sequence>\n
```

כך שעבור מחרוזת המכילה את הרצף q\, הודעת השגיאה תהיה:

```
Error undefined escape sequence q\n
```

עבור מקרה בו הרצף x\ מלווה בתווים שאינם מייצגים ערך הקסדצימלי או שהמחרוזת נגמרת לפני שניתן לקרוא 2 תווים לאחר ה-x (למשל עבור המחרוזת "hey \xF"), הודעת השגיאה תכיל את ה-escape sequence המלא. לדוגמא עבור מחרוזת המכילה את הרצף xFT\, הודעת השגיאה תהיה:

```
Error undefined escape sequence xFT\n
```

עבור מקרה בו התו האחרון במחרוזת הוא \ (שהוא לא חלק מ-escape sequence חוקי, כלומר אין לפניו \) אז מדובר במקרה פרטי של שגיאה 2, ולכן יש להדפיס:

```
Error unclosed string\n
```

### הערות נוספות על התרגיל

- בתרגיל זה תדרשו לכתוב קובץ lex. יחיד. 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 במכיל משתנה enum הכולל בתוכו את כל האסימונים. ביצוע include לקובץ זה הן בקובץ ה-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-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, yyleng
- לתרגיל מצורף קובץ טמפלייט hw1.cpp המכיל את לולאת הקריאה ל-yylex(). העזרו בהם.
- מומלץ להיוועץ ב-manual של flex לצורך ביצוע התרגיל. קל יותר לבצע אותו על ידי שימוש ביכולות מתקדמות של flex שלא נלמדו בתרגולים כגון start conditions, regex patterns מתקדמים ו-debug mode.
- טיפ: השתמשו במבני הנתונים הזמינים בשפת C++ (STL) כגון vector, stack
- טיפ: תוכלו להשתמש באתר <http://regex.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 מכונים 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

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

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

עליכם להגיש קובץ zip המכיל את כל הקבצים שבהם השתמשתם (כולל tokens.hpp אם החלטתם להשתמש בו) ובפרט את הקבצים הבאים (הקפידו על שמות הקבצים):

scanner.lex

hw1.cpp

## דרישות נוספות

על המנתח להבנות על השרת csComp בעזרת הפקודות הבאות:

```
flex scanner.lex
```

```
g++ -std=c++17 lex.yy.c hw1.cpp -o hw1.out
```

מנתח שלא יבנה בהצלחה בעזרת הפקודות הללו **יקבל 0 אוטומטית**.

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

## בדיקת המנתח

באתר הקורס מופיע קובץ zip המכיל קבצי בדיקה לדוגמא.

ניתן ואף רצוי לבדוק את עצמכם באופן הבא:

בנו את המנתח על ידי הפקודות לעיל על השרת csComp. העבירו את קובץ ה-zip של הקבצים לדוגמא לשרת ובצעו unzip. לדוגמא, עבור טסט t1, יש להריץ:

```
./hw1.out < t1.in >& t1.out  
diff t1.out t1.out
```

ולבדוק שמתקבל diff ריק. שימו לב כי במידה והמנתח שלכם לא עובר את כל קבצי הבדיקה שסופקו מראש, לא תתאפשר הגשה חוזרת של התרגיל.

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

**בהצלחה!**