

# תורת הקומפילציה

## תרגיל 3

ההגשה בזוגות בלבד

שאלות במייל בלבד אל yaakovs@cs

לתרגיל יפתח דף FAQ באתר הקורס. יש להתעדכן בו. הנחיות והבהרות שיופיעו בדף ה-FAQ עד יומיים לפני הגשת התרגיל מחייבות. שאלות במייל המופיעות בדף ה-FAQ לא יענו.

התרגיל ייבדק בבדיקה אוטומטית. **הקפידו למלא אחר ההוראות במדויק.**

כללי

בתרגיל זה עליכן לממש ניתוח תחבירי וסמנטי לשפת FanC, הכוללת פעולות אריתמטיות, פונקציות, אנוטציות מסוג precondition לפונקציות והמרות מובנות מ-byte (בית אחד) ל-int (4 בתים).

מנתח לקסיקלי

יש לכתוב מנתח לקסיקלי המתאים להגדרות הבאות:

אסימון	תבנית
VOID	void
INT	int
BYTE	byte
B	b
BOOL	bool
AND	and
OR	or
NOT	not
TRUE	true
FALSE	false
RETURN	return
IF	if
ELSE	else
WHILE	while
BREAK	break
CONTINUE	continue
PRECOND	@pre
SC	;
COMMA	,
LPAREN	(
RPAREN	)
LBRACE	{
RBRACE	}
ASSIGN	=
RELOP	==   !=   <   >   <=   >=
BINOP	+   -   *   /
ID	[a-zA-Z][a-zA-Z0-9]*
NUM	0   [1-9][0-9]*
STRING	"([^\n\r\"\\] \\[rnt\"\\])+"

ניתן לשנות את שמות האסימונים או להוסיף אסימונים נוספים, כל עוד המנתח הלקסיקלי מזהה את כל התבניות לעיל.  
יש להתעלם מרווחים, ירידות שורה משני הסוגים (LF, CR) וטאבים כך שלא תתקבל עליהם שגיאה לקסיקלית.  
יש להתעלם מהערות שורה (הערות C++) המיוצגות ע"י התבנית `//[^\r\n]*[\r\n|\\r\\n]?`

## תחביר

יש לכתוב מנתח תחבירי שיתאים לדקדוק הבא:

1.  $Program \rightarrow Funcs$
2.  $Funcs \rightarrow \epsilon$
3.  $Funcs \rightarrow FuncDecl Funcs$
4.  $FuncDecl \rightarrow$   
 $RetType ID LPAREN Formals RPAREN PreConditions LBRACE Statements RBRACE$
5.  $RetType \rightarrow Type$
6.  $RetType \rightarrow VOID$
7.  $Formals \rightarrow \epsilon$
8.  $Formals \rightarrow FormalsList$
9.  $FormalsList \rightarrow FormalDecl$
10.  $FormalsList \rightarrow FormalDecl COMMA FormalsList$
11.  $FormalDecl \rightarrow Type ID$
12.  $PreConditions \rightarrow \epsilon$
13.  $PreConditions \rightarrow PreConditions PreCondition$
14.  $PreCondition \rightarrow PRECOND LPAREN Exp RPAREN$
15.  $Statements \rightarrow Statement$
16.  $Statements \rightarrow Statements Statement$
17.  $Statement \rightarrow LBRACE Statements RBRACE$
18.  $Statement \rightarrow Type ID SC$
19.  $Statement \rightarrow Type ID ASSIGN Exp SC$
20.  $Statement \rightarrow ID ASSIGN Exp SC$
21.  $Statement \rightarrow Call SC$
22.  $Statement \rightarrow RETURN SC$
23.  $Statement \rightarrow RETURN Exp SC$
24.  $Statement \rightarrow IF LPAREN Exp RPAREN Statement$
25.  $Statement \rightarrow IF LPAREN Exp RPAREN Statement ELSE Statement$
26.  $Statement \rightarrow WHILE LPAREN Exp RPAREN Statement$
27.  $Statement \rightarrow BREAK SC$
28.  $Statement \rightarrow CONTINUE SC$
29.  $Call \rightarrow ID LPAREN ExpList RPAREN$
30.  $Call \rightarrow ID LPAREN RPAREN$
31.  $ExpList \rightarrow Exp$
32.  $ExpList \rightarrow Exp COMMA ExpList$
33.  $Type \rightarrow INT$
34.  $Type \rightarrow BYTE$
35.  $Type \rightarrow BOOL$
36.  $Exp \rightarrow LPAREN Exp RPAREN$
37.  $Exp \rightarrow Exp BINOP Exp$

38.  $Exp \rightarrow ID$
39.  $Exp \rightarrow Call$
40.  $Exp \rightarrow NUM$
41.  $Exp \rightarrow NUM B$
42.  $Exp \rightarrow STRING$
43.  $Exp \rightarrow TRUE$
44.  $Exp \rightarrow FALSE$
45.  $Exp \rightarrow NOT Exp$
46.  $Exp \rightarrow Exp AND Exp$
47.  $Exp \rightarrow Exp OR Exp$
48.  $Exp \rightarrow Exp RELOP Exp$

הערות:

1. הדקדוק כפי שמוצג כאן אינו חד משמעי ב-Bison. יש להפכו לחד משמעי תוך שימור השפה. בעיה לדוגמה שיש לפתור: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dangling\\_else](http://en.wikipedia.org/wiki/Dangling_else)
2. יש להקפיד על מתן עדיפויות ואסוציאטיביות מתאימים לאופרטורים השונים. יש להשתמש בטבלת העדיפויות כאן: <http://introcs.cs.princeton.edu/java/11precedence>

### אנוטציות מסוג Precondition:

אנוטציות הינן מנגנון תחבירי נפוץ בשפות תכנות כגון Java, Python ומיועדות בדרך כלל להוספת metadata לקוד. כפי שמוגדר בתחביר, בתרגיל זה ניתן לתת לפונקציה אנוטציות מסוג Precondition. אנוטציות אלו הינן חלק מהגדרת מפרט פורמלי ומיועדות עבור אימות התוכנה. (להרחבה בנושא זה: [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_by\\_contract](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_by_contract)).

משמעות אנוטציות מסוג Precondition היא אכיפת תנאי (או תנאים) על הארגומנטים של הפונקציה.

לדוגמה:

```
bool isPassing(int grade, int factor)
@pre(grade <= 100)
{
    return (grade+factor) > 55;
}
```

האנוטציה @pre(grade <= 100) משמעותה שבכל הפעלה של הפונקציה ייאכף התנאי כי grade <= 100. תנאי זה נבדק ונאכף בזמן ריצת התוכנית. ולכן בתרגיל זה אינכם נדרשים לממש בדיקה זו ואכיפתה.

### בדיקות סמנטיות

#### טבלאות סמלים

בשפת FanC קיים קיון סטטי של scopes: כל משתנה מוגדר ב-scope שבו הוכרז, ובכל הצאצאים של אותו scope. אסור להכריז על משתנה שכבר מוגדר באותו ה-scope – כלומר אין shadowing של אף identifier שכבר מוגדר (כולל identifier של פונקציה), ואסור להשתמש במשתנה, פונקציה או טיפוס שלא הוגדרו. שימוש במשתנה הוא כל מופע פרט להכרזה שלו. משתנה מוגדר החל מה-statement שאחרי הגדרתו.

קטעי הקוד הבאים תקינים תחבירית:

```
int a;
int a;
```

וגם:

```
int a;  
c = 6;
```

אך לא נרצה לאפשר אותם בשפת FanC. לכן יש לנהל טבלאות סמלים.

בטבלת הסמלים נשמור עבור כל משתנה, פרמטר ופונקציה את שמו, מיקומו היחסי ברשומת ההפעלה, והטיפוס שלו.

יש להשתמש בטבלאות הסמלים כדי לבצע את הבדיקות הבאות:

1. בכל הכרזה על משתנה יש לוודא שמשתנה באותו שם לא מוגדר ב-scope הנוכחי או באחד ה-scopes המכילים אותו.

2. בכל שימוש במשתנה יש לוודא כי הוא מוגדר.

3. בכל שימוש בפונקציה, יש לוודא כי היא הוגדרה לפני השימוש. כלומר: מותר לקרוא לכל פונקציה שהוגדרה לפני הפונקציה הנוכחית, ומותר לקרוא לפונקציה הנוכחית (רקורסיה).

בנוסף יש להשתמש בטבלת הסמלים כדי לבצע בדיקות טיפוסים לפי כללי הטיפוסים של FanC שמוגדרים בהמשך.

**שימו לב** כי בשביל לתמוך בפונקציות ייתכן שתצטרכו לשמור מידע נוסף פרט למידע לעיל.

כללי Scoping:

1. פונקציה ובלוק מייצרים scope חדש. פרמטרים של פונקציה שייכים ל-scope של הפונקציה.
2. if/else/while מייצרים scope חדש.

בנוסף קיימות שתי פונקציות ספרייה: print ו-printi, כאשר print מקבלת מחרוזת (string) ו-printi מקבלת int. שתיהן מחזירות void. יש להכניס את שתי הפונקציות הנ"ל לטבלת הסמלים בפתחת הscope הגלובאלי בסדר הבא: קודם את print ולאחר מכן את printi.

שימו לב כי כדי לשמור את print בטבלת הסמלים אנחנו מגדירים את string כטיפוס פנימי, למרות שהוא לא נגזר ע"י Type.

### כללי טיפוסים

יש לקבוע את הטיפוסים של ביטויים לפי הכללים הבאים:

1. ביטוי שנגזר מ-NUM טיפוסו int, ומ-B NUM טיפוסו byte.
2. טיפוס הקבועים true/false הוא bool.
3. טיפוס קבוע מחרוזת הוא string.
4. הטיפוס של משתנה נקבע לפי הגדרתו.
5. הטיפוס של ביטוי Call נקבע לפי טיפוס ההחזרה של הפונקציה הנקראת.
6. ניתן לבצע השמה של ביטוי מטיפוס מסוים למשתנה מאותו הטיפוס.
7. ניתן לבצע השמה של byte ל-int.
8. פעולות relop מקבלות שני אופרנדים מטיפוסים מספריים. טיפוס ההחזרה של הביטוי הוא bool.
9. פעולות לוגיות (and, or, not) מקבלות אופרנדים מטיפוס bool. טיפוס ההחזרה של הביטוי הוא bool.
10. פעולות binop מקבלות שני אופרנדים מספריים. טיפוס החזרה של binop הוא הטיפוס עם טווח הייצוג הגדול יותר מבין שני הטיפוסים של האופרנדים.
11. ביטוי מסוג string ניתן לשימוש רק בקריאה לפונקציית הספרייה print.
12. פונקציית הספרייה print מקבלת ארגומנט אחד מסוג string ומחזירה void.
13. פונקציית הספרייה printi מקבלת ארגומנט אחד מסוג int או byte ומחזירה void.
14. ניתן לקרוא לפונקציה בהעברת מספר נכון של פרמטרים תואמים לטיפוסים בהגדרת הפונקציה (לפי הסדר). מותר להעביר ביטוי  $e_i$  לפרמטר  $p_i$  של הפונקציה אם השמה של  $e_i$  למשתנה המוגדר מהטיפוס של  $p_i$  מותרת.
15. באותו אופן, בפונקציה המחזירה ערך, טיפוס ה-Exp בכל  $RETURN Exp$  חייב להיות מותר להשמה לטיפוס ההחזרה בהגדרת הפונקציה.

16. פקודות if ו-while מקבלות Exp מטיפוס בוליאני.

17. אנוטציות מסוג precondition מקבלות Exp מטיפוס בוליאני.

(בכלל הגזירה  $(PreCondition \rightarrow PRECOND LPAREN Exp RPAREN)$ )

**שימו לב!** בכל מקרה שלא מוגדר בכללים אלה יש להחזיר שגיאה. ראו סעיף "טיפול בשגיאות" בהמשך.

#### בדיקות סמנטיות נוספות

בנוסף, יש לבצע את הבדיקות הבאות, שאינן בדיקות טיפוסים:

1. עבור כלל הדקדוק  $Statement \rightarrow BREAK SC$  ועבור הכלל  $Statement \rightarrow CONTINUE SC$  יש לבצע

בדיקה כי הם מתגלים רק בתוך לולאת while, אחרת יש לעצור עם שגיאת UnexpectedBreak או UnexpectedContinue בהתאמה ולצאת מהתכנית.

2. עבור כללי הדקדוק  $Statement \rightarrow RETURN SC$  ו- $Statement \rightarrow RETURN Exp SC$  יש לבצע בדיקה כי

הם תואמים לטיפוס הפונקציה:  $RETURN Exp SC$  מותר לשימוש רק בפונקציות שלא מחזירות void (בדיקת הטיפוס עבורו מפורטת תחת "כללי טיפוסים"), ו- $RETURN SC$  רק בפונקציה המחזירה void. אחרת יש לעצור עם שגיאת Mismatch ולצאת מהתכנית.

**שימו לב** שאין חובה שפונקציה תכיל פקודת return ואין צורך לבדוק שלפונקציה המחזירה ערך קיימת פקודת return.

3. ליטרל שטיפוסו byte לא יציין מספר הגדול מ-255.

4. קיימת בדיוק פונקציית main אחת, ללא פרמטרים, ועם טיפוס החזרה void.

#### מיקום המשתנים בזיכרון

בתרגיל אנו מניחים שכל משתנה הוא בגודל 1, ללא תלות בטיפוס. אזי עבור הקוד הבא:

```
int x;
{
    bool y;

    byte z;
}
bool w;
```

המיקומים (offset) לכל משתנה יהיו:

0	x
1	y
2	z
1	w

בנוסף, נמקם ארגומנטים של פונקציה בסדר הפוך ברשומת ההפעלה לפני מיקום 0. לכן עבור הפונקציה הבאה:

```
bool isPassing(int grade, int factor)
{
    return (grade+factor) > 55;
}
```

המיקומים יהיו:

-1	grade
-2	factor

## קלט ופלט המנתח

קובץ ההרצה של המנתח יקבל את הקלט מ-stdin.

יש להיעזר בקובץ output.hpp המצורף לתרגיל על מנת לייצר פלט הניתן לבדיקה אוטומטית.

בסוף כל scope, כולל ה-scope הגלובאלי, המנתח ידפיס את המשתנים שהוגדרו ב-scope זה ל-stdout באופן הבא:

1. קריאה לפונקציה endScope
2. במידה ומדובר ב-scope של פונקציה, יש לקרוא לפונקציה printPreconditions(id, preconditionsNum) עם שם הפונקציה ומספר האנוטציות (מסוג precondition) שהוגדרו עבורה.
3. עבור כל identifier שהוגדר ב-scope על פי סדר ההכרזה בקוד (במידה ומדובר ב-scope של פונקציה, יש להתחיל מהפרמטרים, לפי סדר הגדרתם) יש לקרוא לפונקציה printID(id, offset, type) עם שם המשתנה, המיקום בזיכרון, והטיפוס.
- a. עבור משתנה או פרמטר, מחרוזת הטיפוס צריכה להיות זהה לשם האסימון שהוגדר לטיפוס בחלק הלקסיקלי בתיאור התרגיל (עבור מחרוזת, הטיפוס הוא STRING).
- b. עבור פונקציה, כדי לקבל את מחרוזת ה-type יש לקרוא לפונקציה makeFunctionType עם טיפוס הפרמטרים וטיפוס ההחזרה כפי שהוגדרו בסעיף הקודם. בנוסף, המיקום בזיכרון של פונקציה הוא תמיד 0.
4. שימו לב לבצע זאת בסוף כל scope לפי ההגדרה בפרק טבלת הסמלים של תיאור התרגיל.

ניתן קובץ פלט לדוגמא. יש לבדוק שהפורמט שהודפס זהה אליו. הבדלי פורמט יגרמו לכישלון הבדיקות האוטומטיות.

## טיפול בשגיאות

בקובץ הקלט יכולות להיות שגיאות לקסיקליות, תחביריות וסמנטיות. על המנתח לסיים את ריצתו מיד עם זיהוי שגיאה (כלומר בנקודה העמוקה ביותר בעץ הגזירה שבה ניתן לזהותה). ניתן להניח כי הקלט מכיל שגיאה אחת לכל היותר.

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

errorLex(lineno)	שגיאה לקסיקלית
errorSyn(lineno)	שגיאה תחבירית
errorUndef(lineno, id)	שימוש במשתנה שלא הוגדר או ב-identifier שאינו משתנה כמשתנה
errorUndefFunc(lineno, id)	שימוש בפונקציה שלא הוגדרה או ב-identifier שאינו פונקציה כפונקציה
errorDef(lineno, id)	ניסיון להגדיר identifier שכבר הוגדר
errorPrototypeMismatch(lineno, id, types)	ניסיון להשתמש בפונקציה עם ארגומנטים לא תואמים. types יהיה רשימת הטיפוסים המצופים.
errorMismatch(lineno)	אי התאמה של טיפוסים (פרט להעברת פרמטרים לא תואמים לפונקציה)
errorUnexpectedBreak(lineno)	פקודת break שאינה חלק מלולאה
errorUnexpectedContinue(lineno)	פקודת continue שאינה חלק מלולאה
errorMainMissing()	לא מוגדרת פונקציית void main()
errorByteTooLarge(lineno, value)	ליטרל מסוג byte מכיל מספר גדול מדי, כאשר value הוא הערך הקיים בקוד.

בכל השגיאות הנ"ל id הוא שם המשתנה או הפונקציה, ו-lineno הוא מס' השורה בה מופיעה השגיאה.

- במקרה של שגיאה הפלט של המנתח יהיה תוכן כל ה-scopes שנעשה להם reduce והשגיאה שהתגלתה (כפי שניתן לראות בדוגמה t2).
- יש לתפוס את השגיאה ולעצור את המנתח מוקדם ככל הניתן.

- לדוגמה, במקרה שבתנאי if מופיע Exp שאינו מטיפוס בוליאני, יש לזרוק את השגיאה ולעצור לפני ההדפסה שמתבצעת בסוף scope.
- בדיקה כי קיימת פונקציית main() void תתבצע לפני reduce של ה-scope הגלובלי. ולכן על המנתח לזהות זאת לפני הדפסת תוכן ה-scope הגלובלי.

## הדרכה והערות

סדר מומלץ לביצוע התרגיל (מומלץ להריץ בדיקות לאחר כל סעיף):

1. כתבו מנתח לקסיקלי ותחבירי ללא כללים סמנטיים.
2. בדקו שהמבנה התחבירי של השפה נאכף ואין אף קונפליקט.
3. הגדירו את YYSTYPE וממשו טבלאות סמלים. השתדלו ליצור מחלקות לכל נונטרמינל ולא ליצור struct אחד שמכיל את כל התכונות הסמנטיות.
4. מומלץ מאוד לממש מחלקות לטיפול בדרישות שונות ולהפנות אליהן מהקוד בקובץ הדקדוק. שימוש בקוד חיצוני יחסוך לכם להריץ את bison בכל שינוי של הקוד. שימו לב כי ניתן להגיש קבצי קוד נוספים.
5. בצעו בדיקות סמנטיות.

שימו לב כי התרגיל לא ייבדק עם הכלי valgrind. על אף זאת, על התרגיל לא לקרוס.

## הוראות הגשה

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
- קובץ בשם parser.ypp המכיל את המנתח
- את כל הקבצים הנדרשים לבניית המנתח, כולל \*.output שסופקו כחלק מהתרגיל.

בנוסף, יש להקפיד שהקובץ לא יכיל את:

- קובץ ההרצה
- קבצי הפלט של flex ו-bison
- קובץ makefile שסופק כחלק מהתרגיל

יש לוודא כי בביצוע unzip לא נוצרת תיקיה נפרדת. על המנתח להיבנות על השרת csl2 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/ hw3-tests.zip .

unzip hw3-tests.zip
make
./hw3 < 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! 😊