מבחן סוף סמסטר – מועד ב׳

טור מקור

מרצה אחראי: ד״ר הילה פלג

מתרגלים: הילה לוי, אלעד רון, תומר כהן, גיא ארבל

הוראות:

1. בטופס המבחן X עמודים, מתוכם 5 דפי נוסחאות. בדקו שכל העמודים ברשותכם.
2. משך המבחן שלוש שעות (180 דקות).
3. כל חומר עזר חיצוני אסור לשימוש.
4. בשאלות הפתוחות, ניתן לציין לגבי סעיף או שאלה ״לא יודע/ת״. תשובה זו תזכה ב-20% מהניקוד. תשובות שגויות לא יזכו בניקוד.
5. קראו את כל המבחן לפני שאתם מתחילים לענות על השאלות.
6. אין צורך להגיש את טופס מבחן זה בתום הבחינה.
7. את התשובות לשאלות הסגורות יש לסמן בטופס התשובות הנפרד בלבד. את התשובות לשאלות הפתוחות יש לכתוב במחברת הבחינה.
8. ודאו כי אתם מגישים טופס תשובות ומחברת בחינה בלבד.

בהצלחה!

חלק א' - שאלות סגורות (50 נק')

שלבי קומפילציה (20 נק')

נתונה התוכנית הבאה בשפת FanC:

```
1. bool is_palindrome (int a)
2. {
3.    int tmp = a;
4.    int reserved = 0;
5.    while (tmp > 0) {
6.      int digit = tmp – (tmp / 10) * 10;  // Last digit
7.      reserved = reserved * 10 + digit;
8.      tmp = tmp / 10;
9.    }
10.   return reserved == a;
11. }
```

בסעיפים הבאים (שאלות 1 עד 5) מוצגים שינויים (בלתי תלויים) לקוד של התוכנית. עבור כל שינוי ציינו את השלב המוקדם ביותר שבו נגלה את השגיאה:

שאלה מספר 1:
(2 נק') מחליפים את האופרטור = לאופרטור == בשורה 3.

א. שגיאה בניתוח תחבירי
ב. שגיאה בניתוח לקסיקלי
ג. שגיאה בניתוח הסמנטי
ד. אין שגיאה
ה. שגיאה בייצור קוד
ו. שגיאה בזמן ריצה

שאלה מספר 2:
(2 נק') מחליפים את שורה 8 ל- `tmp /= 10;`

א. שגיאה בניתוח תחבירי
ב. אין שגיאה
ג. שגיאה בניתוח לקסיקלי
ד. שגיאה בניתוח סמנטי
ה. שגיאה בייצור קוד
ו. שגיאה בזמן ריצה

שאלה מספר 3:

(2 נק') משנים את שורה 4 ל- `int reserved = 0b;`

א. אין שגיאה

ב. שגיאה בניתוח לקסיקלי

ג. שגיאה בניתוח תחבירי

ד. שגיאה בניתוח סמנטי

ה. שגיאה בייצור קוד

ו. שגיאה בזמן ריצה

שאלה מספר 4:

(2 נק') משנים את חתימת הפונקציה is_palindrome כך שתחזיר int.

א. שגיאה בניתוח סמנטי

ב. אין שגיאה

ג. שגיאה בניתוח לקסיקלי

ד. שגיאה בניתוח תחבירי

ה. שגיאה בייצור קוד

ו. שגיאה בזמן ריצה

שאלה מספר 5:

(2 נק') הופכים את הסוגריים המסולסלים { } בשורות 5 ו-9 לסוגריים מרובעים [].

א. שגיאה בניתוח לקסיקלי

ב. שגיאה בניתוח תחבירי

ג. אין שגיאה

ד. שגיאה בניתוח סמנטי

ה. שגיאה בייצור קוד

ו. שגיאה בזמן ריצה

שינויים ב-FanC- שאלות 6-7:

נרצה להוסיף את המילה השמורה rand לשפת FanC. מילה זו תייצג מספר רנדומלי (int) שהוגרל בתחילת הקומפילציה ולאחר מכן יישאר קבוע לאורך כל הריצות של התוכנית עד לפעם הבאה בה יקמפלו את התוכנית. עבור כל rand בתוכנית נקבל מספר רנדומלי אחר.

לדוגמה עבור:

```
int a = rand;
int b = rand;
```

נקבל את הקוד llvm:

```
t0 = add i32 0, 22
t1 = add i32 0, 90
```

כאשר המספר הראשון שהקומפיילר הגריל הוא 22 והמספר השני הוא 90.

שאלה מספר 6:

(5 נק') באיזה שלב הכי מוקדם של הקומפיילר ניתן להגריל את המספר?

א. ניתוח לקסיקלי

ב. ייצור קוד

ג. ניתוח תחבירי

ד. ניתוח סמנטי

ה. זמן ריצה

שאלה מספר 7:

(5 נק') הוחלט להגריל את המספר בשלב ייצור הקוד, מה הם שלבי הקומפילציה שנהיה חייבים לשנות מלבד שלב ייצור קוד?

א. ניתוח לקסיקלי, ניתוח תחבירי, ניתוח סמנטי

ב. ניתוח לקסיקלי

ג. ניתוח לקסיקלי, ניתוח תחבירי

ד. ניתוח תחבירי, ניתוח סמנטי

ה. אף תשובה אינה נכונה

אופטימיזציות (10 נק')

נתון הקוד הבא בשפת הביניים, נוסיף את return לפעולות בשפת הרביעיות.
המשתנה n מתקבל כקלט בתחילת הפונקציה, המשתנים t ו- t2 הם משתנים זמניים שלא חיים מחוץ לבלוק הבסיסי.
כל שאר המשתנים הם משתני הפונקציה.

```
1.  a = 0
2.  b = 1
3.  if (n = 0) goto 11
4.  a = n
5.  t = a + b
6.  a = b
7.  b = t
8.  t2 = 4 + 1
9.  n = n – t2
10. goto 3
11. return a
```

שאלה מספר 8:
(5 נק') כמה leaders מזוהים על ידי אלגוריתם יצירת ה-CFG על הקוד הנתון?

א. 4

ב. 2

ג. 3

ד. 5

שאלה מספר 9:

(5 נק') בהנחה **שלא נתונה** אף תוצאה של אנליזה על הפונקציה, הריצו על הבלוק שמכיל את שורה 6 את האופטימיזציות הבאות: Algebraic Simplification, Constant Propagation, Constant Folding, dead code elimination מספר רב של פעמים ככל הניתן.

מהי התוצאה אליה הגעתם?

א.
```
a = n
t = a + b
a = b
b = t
n = n - 5
goto 3
```

ב.
```
t = n + b
b = t
n = n - 5
goto 3
```

ג.
```
a = n
t = a + b
b = t
n = n - 5
goto 3
```

ד.
```
t = n + b
a = b
b = t
n = n - 5
goto 3
```

ה.
```
t = a + b
a = b
b = t
n = n - 5
goto 3
```

דקדוקים (20 נק')

יהי G הדקדוק הבא:

$$S \rightarrow a\,S\,a$$
$$S \rightarrow a\,S\,b$$
$$S \rightarrow a$$

שאלה מספר 10:

(4 נק') מהו מספר המצבים באוטומט LR(0) של הדקדוק G?

א. 6

ב. 5

ג. 4

ד. 7

ה. 8

שאלה מספר 11:

(4 נק') מהו השינוי במספר התאים בעלי קונפליקט בטבלת הניתוח SLR של הדקדוק לעומת טבלת הניתוח LR(0) של הדקדוק G?

א. נשאר זהה

ב. קטן בלפחות 2

ג. גדל ב-1

ד. קטן ב-1

ה. גדל בלפחות 2

שאלה מספר 12:

(4 נק') בכמה תאים בטבלת הניתוח SLR של הדקדוק G קיים קונפליקט אחד לפחות?

א. תא אחד

ב. אין תאים כאלה

ג. 2 תאים

ד. 3 תאים

ה. יותר מ-3 תאים

שאלה מספר 13:

(4 נק') לכל שני דקדוקים $G1 = (V, T, P, S)$ ו- $G2 = (V', T', P', S')$ עבורם $S \neq S'$

נגדיר את הדקדוק הבא: $G3 = (V \cup V' \cup \{S''\},\ T \cup T',\ P \cup P' \cup \{S'' \rightarrow S, S'' \rightarrow S'\},\ S'')$

סמנו את הטענה הנכונה ביותר:

א. אף אחת מהתשובות האחרות אינה נכונה.

ב. $G3$ ב- LL(1) לכל $G1$ ו- $G2$.

ג. $G3$ לא ב- LL(1) לכל $G1$ ו- $G2$.

ד. $G3$ ב- LL(1) אם $G1$ ו- $G2$ ב- LL(1).

ה. $G3$ ב- LL(1) אם ורק אם $G1$ ו- $G2$ ב- LL(1).

<u>שאלה מספר 14:</u>

(4 נק') נתון הדקדוק הבא:

$$S' \to S$$
$$S \to a\,S\,c$$
$$S \to b$$

יוסי פיתח את המנתח LR(1) של הדקדוק (הדקדוק נמצא במחלקה, אין צורך לוודא זאת) בחר מילה כלשהי שנסמנה w **<u>אשר נמצאת בוודאות בשפה!</u>**

יוסי הריץ את אלגוריתם המנתח.

נסמן:

$S(t)$ – כמות הפעמים שמופיע המשתנה S במחסנית בזמן t של ריצת האלגוריתם.

$a(t)$ – כמות הפעמים שמופיע הטרמינל a במחסנית בזמן t של ריצת האלגוריתם.

$c(t)$ – כמות הפעמים שמופיע הטרמינל c במחסנית בזמן t של ריצת האלגוריתם.

<u>הערה</u> – זמן של ריצת האלגוריתם מוגדר באופן הבא:

$t = 0$ הזמן בעת המצב ההתחלתי

t גדל ב-1 לאחר כל השלמת shift או reduce.

סמנו את התשובה **<u>הלא נכונה</u>**:

א. קיים t עבורו מתקיים $a(t) < c(t)$

ב. קיים t עבורו מתקיים $S(t) \le a(t)$

ג. קיים t מתקיים $a(t) < S(t)$

ד. לכל t מתקיים $c(t) \le S(t)$

ה. לכל t מתקיים $c(t) \le a(t)$

חלק ב' - שאלות פתוחות (50 נק')

שאלה 1: ייצור קוד (20 נק')

הוסיפו לשפת FanC מבנה בקרה חדש, if_according_to_b_2:

הדקדוק שאיתו ממומש if_according_to_b_2 הוא:

$$S \rightarrow if\_according\_to\_b_2(E\ ;B\_list\ )\ \{S_1\}$$
$$B\_list\ \rightarrow B\_list_1\ ,B$$
$$B\_list\ \rightarrow B$$

משמעות המבנה: נסמן את הערך של E ב-k. אם k שלילי או גדול ממספר הביטויים הבוליאניים ב-B_list אין לבצע דבר.
אחרת, נפעל באופן הבא:
אם ישנם k ומעלה ביטויים בוליאניים שמשוערכים ל-true אז יש לבצע את S_1 ואחרת אין לבצע אותו.

דוגמה למבנה הבקרה החדש:

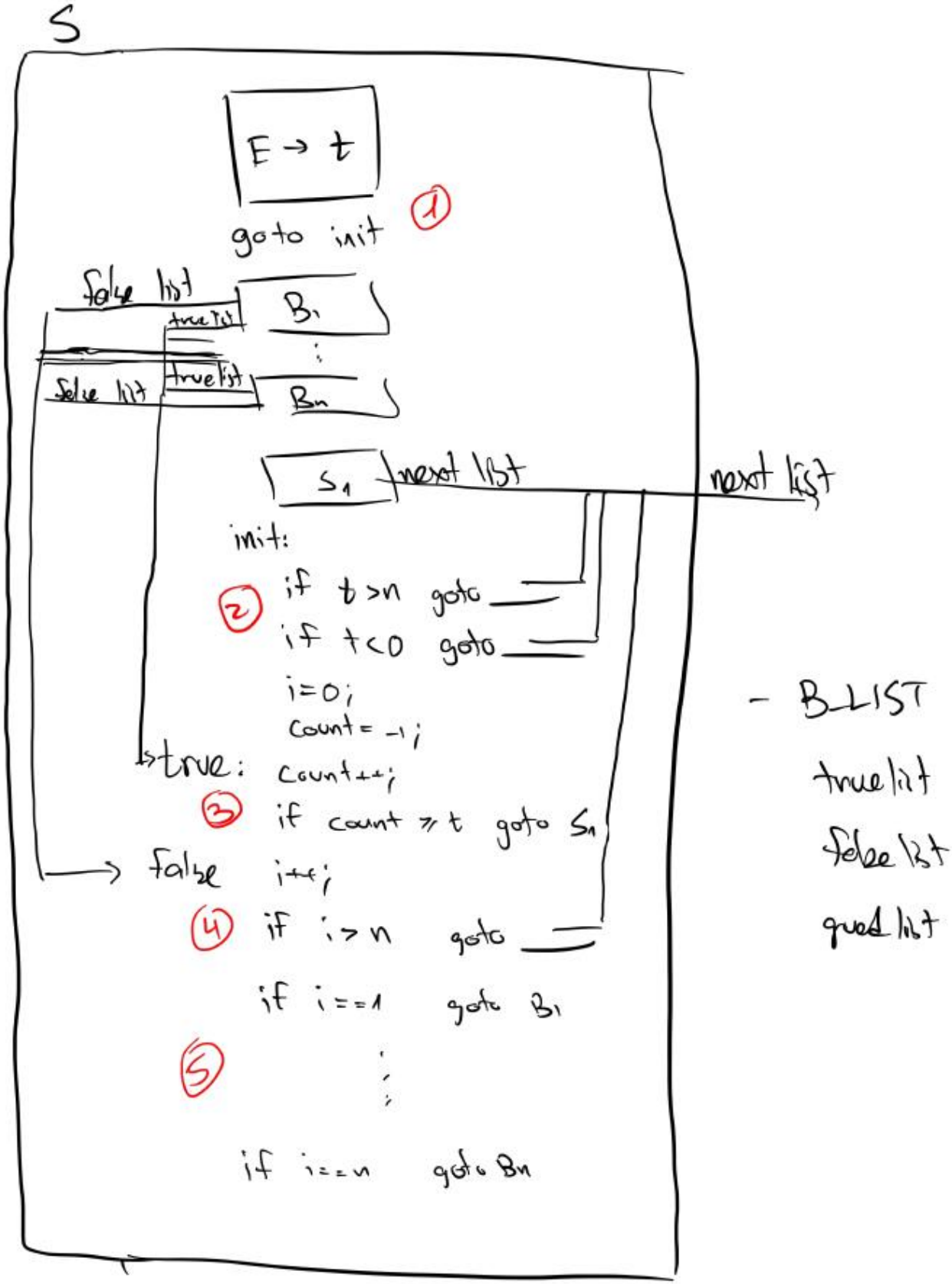
```
if_according_to_b_2  (3 ; x > 2 , 3 > 2 , 4 > 3 , 4 > 5)
{
      printf("Good Luck!");
}
```

עבור x = 3 הערך שיודפס הוא: Good Luck!
עבור x = 1 לא יודפס דבר.

שימו לב:

- ניתן להניח שבקוד לא יהיו שגיאות קומפילציה
- אין לשנות את הדקדוק פרט להוספת מרקרים M, N
- ניתן להשתמש במרקרים M, N שנלמדו בכיתה בלבד
- למשתנים S, E, B ישנן התכונות שהוגדרו בכיתה בלבד
- למשתנים S, E, B ישנם כללי גזירה פרט לאלה המוצגים בשאלה
- אסור להשתמש במשתנים גלובליים
- המשתנה S תמיד יכיל nextlist

1. הציעו פריסת קוד המתאימה לשיטת backpatching עבור מבנה הבקרה הנ"ל. על הקוד הנוצר להיות יעיל ככל האפשר. הסבירו מהן התכונות הסמנטיות שאתם משתמשים בהן עבור כל משתנה.
2. כתבו סכימת תרגום בשיטת backpatching המייצרת את פריסת הקוד שהצעתם בסעיף הקודם. על הסכימה להיות יעילה ככל האפשר, הן מבחינת זמן הריצה שלה והן מבחינת המקום בזיכרון שנדרש עבור התכונות הסמנטיות.



- B_LIST
  - true list
  - false list
  - next list

B_LIST → M B

{ שמירת מספר הביטוי , tlist , flist }

B_LIST → B_LIST, M B

{ הוספת מספר הביטוי B.place לרשימות tlist , flist }

S → if -- b2 (E N ; B_LIST) { M S1 }

(1) BP (N.next list , Next quad(1));

(2) { שמירת מספר הביטוי לפי תנאים S.next list }

⋮

BP (B_LIST. true list , Next quad(1))

⋮

(3) emit(if count > B_LIST.size goto M.quad)

⋮

BP (B_LIST. false list , Next quad(1))

⋮

(4) לשמור מספר הביטוי מעבר S.next list

(5) for j in [a]

emit (if i == j goto B_LIST.quad[j])

שאלה 2: אנליזה סטטית (30 נק')

```
//question2.h

int foo(double a1) /*foo_1*/ {…}
std::string foo(float a1) /*foo_2*/ {…}

int bar(int a1, int a2) /*bar_1*/ {…}
float bar(int a1, float a2) /*bar_2*/ {…}
std::string bar(std::string a1, int a2) /*bar_3*/ {…}

std::wstring qux(float a1) /*qux_1*/ {…} //(wstring is a Unicode string)
std::string qux(std::string a1) /*qux_2*/ {…}

int thud() /*thud_1*/ {…};
double thud() /*thud_2*/ {…};
float thud() /*thud_3*/ {…};

bool randbool() { /*returns a random boolean*/ }
```

מייקל אחראי על קומפיילר C++ שכונתי ורוצה לשלב באופן מתקדם בין שני פיצ'רים של השפה: העמסת פונקציות ו-auto.

מייקל רוצה לחלק את הבדיקות הסמנטיות לשני שלבים: בשלב הראשון ייקבעו הטיפוסים של כל הביטויים שלא מעורבת בהם פונקציה מועמסת (למשל בשלב זה ייקבע כי טיפוס הביטוי randbool() הוא bool), יירשם בטבלת הסמלים טיפוס כל המשתנים שהטיפוס שלהם מופיע בהגדרה, וכן יירשם טיפוס משתנים המוגדרים עם auto אבל כבר נקבע טיפוס הביטוי שמושם אליהם (כלומר: אין בו שימוש בפונקציות מועמסות או משתנים אחרים שעוד לא נקבע הטיפוס שלהם). ההחלטה לגבי איזו גרסה של פונקציה מועמסת תיקרא ומה יהיה הטיפוס של משתנה auto המקבל השמה התלויה בפונקציה מועמסת תידחה לשלב שני חדש אחרי השלב הסמנטי אך לפני ייצור הקוד.

מייקל רוצה שגם אם לכאורה ייתכנו מספר אפשרויות טיפוס בקריאה ספציפית, כל עוד לכל השמה יש רק אפשרות יחידה לטיפוס שנכונה לכל הריצות האפשריות, וכל ההשמות לאותו משתנה תואמות בכל רחבי התכנית, הבדיקה החדשה תכריע מה הטיפוס של המשתנים וטבלת הסמלים תאפשר להשתמש בטיפוס החזרה כאינפורמציה נוספת על מנת להכריע בין העמסות.

כך למשל בתכנית הקצרה לדוגמה:

```
auto a = bar(0,2.0); //definitely bar_2
std::string b = foo(a);
```

קביעת הטיפוס של a וכן ההעמסה הספציפית של foo ו-bar יידחו לשלב החדש. בשלב החדש, ההעמסה של bar נקבעת באופן יחיד לפי טיפוסי הפרמטרים, ולכן הטיפוס של a ייקבע כ-float. שתי הקריאות של foo יכולות לקבל את a כפרמטר, אבל מכיוון שהטיפוס של b כבר נקבע כ-string, ניתן להשתמש במידע הנוסף כדי להכריע ביניהן. אם לא ניתן היה להכריע ביניהן, התכנית לא הייתה מתקמפלת.
שימו לב כי משמעות הדבר שייתכן שתוצאת השלב החדש היא שהתכנית לא מתקמפלת, אבל במידה והיא כן, בשלב ייצור הקוד של הקומפיילר כבר יהיה ידוע איזו פונקציה תיקרא. מייקל מטיל על ג'ייסון ואלינור לפתח את הפיצ'ר. ג'ייסון מבולבל.

א. (3 נק')

1. הסבירו לג'ייסון מדוע פונקציה מועמסת (overloaded) בניגוד לפונקציות נדרסות בירושה (polymorphism) נבחרת לפני שלב ייצור הקוד.

פונקציות מועמסות שונות זו מזו בטיפוס הפרמטרים, אז בזמן הבדיקה הסמנטית אפשר לדעת לפי טיפוסי הארגומנטים איזו פונקציה לבחור כל עוד אין דו משמעות. לדריסות שונות של פונקציה על טיפוסים בהיררכיית ירושה יש כולן אותה חתימה! כלומר אי אפשר להבדיל בינהן כך, וחייבים לחכות לזמן ריצה ולבחור אותן לפי הטיפוס הדינמי של האובייקט.

2. אלינור אומרת שבניגוד למימוש המקורי של auto, אי אפשר יהיה לבצע את ההחלטה לגבי הטיפוס הסופי של משתנה שמוגדר auto ביחד עם בדיקות הטיפוסים של הקומפיילר, ויהיה צורך באנליזה מתקדמת יותר. הסבירו מדוע אלינור צודקת.

בגלל שיש תלות הדדית בין משתני auto לפונקציות מועמסות, כל עוד לא בטוחים איזו פונקציה צריכה להיבחר יכול להיווצר מצב בו ל-auto יש כמה טיפוסים אפשריים. למשל:

```
auto x = thud();
```

ל-x יש שלושה טיפוסים אפשריים.

ואז אם משתמשים ב-x כדי לקרוא לפונקציה מועמסת, הכמה טיפוסים מתורגמים לכמה העמסת אפשריות.

אבל יכול להיות שאפשר להגיע להכרעה מהו הטיפוס היחיד שקונסיסטנטי (כל עוד בכל נקודה בקוד הוא יחיד), ולכן אנליזה תסדר אותנו.

ב. (4 נק') אלינור מבקשת מצ'ידי לעזור לה לממש את האנליזה. הסבירו לאלינור ולצ'ידי בקצרה מה צריך לדעת על מנת לבחור בין מספר העמסות אפשריות של אותה הפונקציה, מה תצטרך אנליזה סטטית לבדוק על מנת לעשות זאת, וכיצד ישתמשו בתוצאות שלה.

למרות שיש פה שני דברים עם ריבוי אפשריות, שימו לב שטיפוס המשתנים קובע את טיפוס הפונקציות, אז אפשר לעקוב אחריהם בלבד, כשההפך אינו נכון. לכן נעקוב אחרי הטיפוסים של ביטויים ומשתנים – במצב האבסטרקטי שלנו נשמור את המשתנים – ונחפש טיפוס שמופיע בכל המסלולים. כלומר: כאשר מאחדים מסלולים, נרצה רק את מה שמגיע משני הצדדים. אם הוא יחיד וקונסיסטנטי בכל הנקודות בקוד, מצאנו את הטיפוס שלנו.

ג. (7 נק') עזרו לאלינור וצ'ידי להגדיר את האנליזה:

1. הגדירו את הדומיין: מהם האיברים? מהו יחס הסדר $\sqsubseteq$? מהי פעולת ה-join $\sqcup$?

אם קבוצת כל הטיפוסים היא T, ניקח את דומיין החזקה של T, כלומר איברים יהיו קבוצות של טיפוסים. מכיוון שאנחנו רוצים את מה שמגיע משתי הכניסות של כל איחוד, נבחר את יחס הסדר להיות $\supseteq$ ואת ה-join להיות $\cap$. הרבה תשובות בחרו את יחס הסדר להיות הפוך, וגילו אחרי שהריצו את האנליזה בסעיף ד שהיא בעצם רק צברה עוד ועוד אפשרויות לטיפוסים ולכן אי אפשר היה להכריע כלום.

כדי לעקוב אחרי משתני תכנית נגדיר את המצב האבסטרקטי $\sigma^{\#}$ להיות פונקציה משם משתנה לאיבר בדומיין החזקה של T. דומיין המכפלה $P(T)^k$ כאשר יש k משתנים זה שקול, סתם יותר קשה לתחזוקה.

2. הגדירו את פונקציות האבסטרקציה α ופונקציית הקונקרטיזציה γ המקשרות בין הערכים האבסטרקטיים והקונקרטיים. (רמז: מומלץ להגדיר אותן עבור משתנה בודד.)

הדבר החשוב פה הוא שגם הדומיין האבסטרקטי וגם הדומיין הקונקרטי הם דומיינים של קבוצות טיפוסים אפשריים עבור ביטוי\משתנה. זה בעצם אומר שפונקציית β שמתרגמת איבר קונקרטי יחיד לאיבר אבסטרקטי יחיד משאירה את בדיוק אותם איברים.

מפה, $\alpha(S)$ על S קבוצת איברים קונקרטיים היא join של הפעלת β על כל אחד מהם, או במילים אחרות הטיפוסים שמופיעים בכל $c \in S$.

$\gamma(a)$ על איבר אבסטרקטי a יהיה כל אופציות הטיפוסים הקונקרטיות ש-a מתאר, כלומר כל קבוצות הטיפוסים שמכילות לפחות את כל הטיפוסים ב-a.

3. הגדירו את הסמנטיקה עבור **ביטוי** קריאה לפונקציה ועבור **משפט** השמה.

הניחו כי נתונה לכם טבלת הסמלים symtab שהיא תוצאה של השלב הסמנטי הראשון של הקומפיילר, וניתן לתשאל לפי שם וטיפוסי פרמטרים ולקבל את החתימות של כל הפונקציות שיתאימו לקריאה כזו. למשל, symtab(randbool()) יחזיר קבוצה בגודל אחד, $\{() \to bool\}$, ו-symtab(bar(int,char)) יחזיר את הקבוצה $\{(int, int) \to int, (int, float) \to float\}$ מכיוון שערך מטיפוס char ניתן להשמה גם ל-int וגם ל-float.

משפט השמה: $[\![x = e]\!]^{\#}\sigma^{\#} = \sigma^{\#}[x \mapsto [\![e]\!]^{\#}\sigma^{\#}]$

חלק מהתשובות התפתו להוסיף כבר כאן $\sqcup$ עם הערך הקודם של המשתנה. זו דרך להכריח את האנליזה להתכנס יותר חזק, אבל עשויה לפספס מצבים שבהם השמה כלשהי מייצרת דו משמעות שנרצה להודיע עליה במקום להתכנס בכוח, למשל אם הייתה עוד השמה לפני שורה 3 של analyze_me.

ביטוי קריאה לפונקציה:

$$[\![f(a_1,\dots,a_k)]\!]^{\#}\sigma^{\#} = \bigcup\{symtab(foo(\tau_1,\dots,\tau_k)) \mid \tau_1 \in [\![a_1]\!]^{\#}\sigma^{\#},\dots\tau_k \in [\![a_k]\!]^{\#}\sigma^{\#}\}$$

דגשים: 1. לא ביקשנו מכם לטפל בשאר הביטויים אז אפשר להניח שהם יטופלו לבד. 2. חשוב לשים לב שלארגומנטים יכולות להיות מספר אופציות וצריך לבדוק את כולן. 3. מדובר בביטוי ולכן הוא מחזיר ערך בדומיין ולא מעדכן את המצב האבסטרקטי.

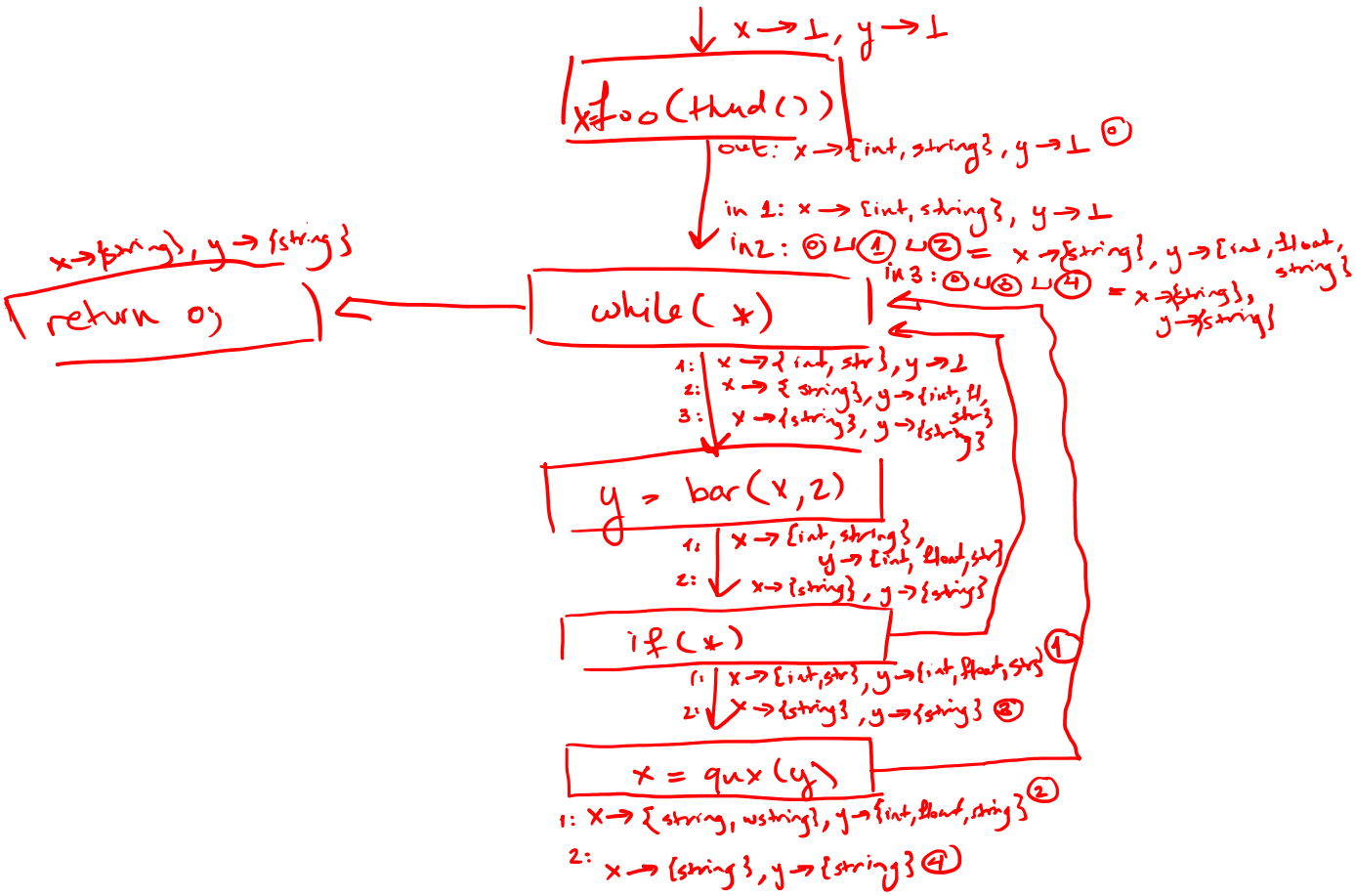
```
1.  int analyze_me()
2.  {
3.     auto x = foo(thud());
4.     while (randbool()) {
5.        auto y = bar(x,2);
6.        if (randbool()) {
7.           x = qux(y);
8.        }
9.     }
10.    return 0;
11. }
```

ד. (10 נק') נתחו את הפונקציה `analyze_me`:

1. ציירו את ה-CFG של הפונקציה.
2. השתמשו באנליזה שלכם כדי לנתח את הפונקציה. יש להראות גם את ערכי הביניים של האנליזה לפני שהתייצבה.

לנוחותכם, להלן טבלה של type coercions מובנים בין הטיפוסים הבסיסיים ב-C++:

לטיפוס	ניתן לבצע implicit coercion מהטיפוסים
int	bool
double	bool,int,float
float	bool,int,double



ה. (4 נק') השתמשו בתוצאות האנליזה שלכם כדי לקמפל את הקוד: עבור כל קריאה לפונקציה מועמסת ציינו אחד מהשניים:

1. איזו מבין הפונקציות המועמסות תיבחר (לשם הנוחות, ניתנו להם שמות ייחודיים בהערה) **ומדוע**, או
2. הפרמטרים להדפסת הודעת השגיאה, כלומר איזה ניסיון קריאה מוביל לאיזו פונקציה או פונקציות.

למשל, אם האנליזה החליטה שעבור הקריאה ל-qux הפרמטר יכול להיות int או string, יש לציין:

```
qux(int): qux_1
qux(string): qux_2
```

שימו לב כי יש **ארבע** קריאות מועמסות שעליכם לקבוע.

את thud בשורה 3 לא ניתן להכריע: thud_1, thud_2, thud_3 עדיין על השולחן בהיעדר פרמטרים:

```
thud(): thud_1
thud(): thud_2
thud(): thud_3
```

הפרמטר של foo בשורה 3 יכול להיות int, double או float, כל אחד מהם יכול להיות פרמטר גם ל-foo_1 וגם ל-foo_2 אז:

```
foo(int): foo_1
foo(int): foo_2
foo(double): foo_1
foo(double): foo_2
foo(float): foo_1
foo(float): foo_2
```

טעות נפוצה הייתה לקבוע את x להיות string ולכן להכריע גם את foo (ולפעמים גם את thud) מכאן, אבל חשוב לשים לב שכדי להכריע את x צריכה להיות לו אפשרות **יחידה** בכל השמה אליו בתכנית, ובשורה 3 עדיין יש שתי אפשרויות.

בשורה 5 הקריאה ל-bar תהיה bar_3, ובשורה 7 תיקרא qux_2. אין צורך להכריע את randbool, היא לא מועמסת.

ו. (2 נק') טהאני מצטרפת לצוות ואומרת שהמרצה שלה לקומפילציה, גרייס הופר, המציאה פעם אנליזה—לא משנה מה הפרטים שלה—שתוכל לקבל חלק מההחלטות לפני האנליזה הנוכחית ותשפר את הביצועים של האנליזה של צ'ידי ואלינור. אם האנליזה של טהאני בוחרת את הקריאה ל-thud בשורה 3 להיות קריאה ל-thud_1, האם צ'ידי ואלינור יוכלו להשתמש במידע זה כדי לגרום לתכנית להתקמפל? אם כן, כיצד? אם לא, מדוע?

האנליזה לא תעזור: גם אם בחרנו בכוח את thud_1, היא מחזירה int, וקיימת המרה implicit ל-float ו-double, כלומר עדיין שתי הגרסאות של foo ייתכנו לפי טיפוסי הפרמטרים ועדיין יש דו משמעות.