

מטלה 4 - עקרונות שפות תכנות
יונתן נחמד וניר שניידר

משימה 1 :

1.

a:

המשפט משפט שקר .
פעולת g, f מוגדרות כך שהן פועלת על איברי $T1$ ומחזירה אברי $T2$. לכן פעולת $(g \ a)$ פעולה תקינה כי $a:T1$ ותוצאתה היא מסוג $T2$ ונקבל $(g \ a):T2$. עם זאת, לא נוכל להפעיל את f על תוצאת $(g \ a)$ מהסיבה שאין לנו מידע בסביבה על הקשר בין $T2$ ל $T1$ ולכן המשפט לא עומד בהגדרות הסביבה שהוגדרה .

b:

המשפט משפט אמת.
פעולת f פועלת על איברי $T2$ ומחזירה אברי $T1$. במשפט שלנו $(f \ y)$ אז f פועלת על y מטיפוס $T2$ ולכן הפעולה חוקית וערכה אמת. בנוסף, טיפוס ההחזרה של f הוא $T1$ ומכאן שיש ביטוי אחד במשפט והוא הפעלת f לכן טיפוס ההחזרה הוא $T1$ כנדרש.

c:

המשפט משפט אמת.
מהגדרת f מקבלת טיפוס $T1$ ומחזירה טיפוס $T2$. מהגדרת λ היא מקבלת קלט ומחזירה פלט, במקרה שלנו הטענה היא שה λ בביטוי מקבלת ביטויים מסוג $T1$ ומחזירה ביטויים מסוג $T2$ מכאן שהטיפוס של $\lambda:T1 \rightarrow x$. אם x מסוג $T1$ אז x הוא מסוג הטיפוסים שמתקבלים בקלט של f .
 f מחזירה טיפוס של $T2$ ו- $(f \ a)$ הוא הביטוי האחרון אז הוא הביטוי המוחזר מ λ ולכן הטיפוס המוחזר מה λ הוא $T2$.
לכן כל הביטוי הוא $T1 \rightarrow T2$ וסוגי הטיפוסים ב λ תואמים ולכן המשפט אמת.

d:

המשפט משפט שקר .
מההגדרה נשים לב כי ההצבה היא שהפונקציה f מ $T1 * T2 \Rightarrow T3$.
נתבונן בפונקציה λ האנונימית המקבלת את x כפרמטר ולפי תיוג הטיפוסים על λ הוא מסוג $T1$.
בגוף ה λ ישנה הפעלה של f מהסביבה על $100: \text{number}$ $x:T1$. נשים לב כי הפרמטרים של f הם מסוג $T1 * T2$ ובגוף הפונקציה ההפעלה היא של $T1 * \text{number}$.
בסביבה אין הוכחה לכך ש $T2 = \text{number}$ לכן איך הכרח שזה נכון והפונקציה f לא תקבל את הטיפוס הארגומנטים המתאימים.
לכן המשפט משפט שקר .

2. א)

$((\text{lambda } (x1) (+ x 1)) 4)$

שלב א' – שינוי שמות המשתנים לשמות ייחודיים.
במקרה שלנו לכל טיפוס יש שם שונה ולכן נוכל לדלג על שלב זה.

שלב ב' – הגדרת משתנה טיפוס לכל תת ביטוי.

$((\text{lambda } (x1) (+ x1 1)) 4)$	T0
$(\text{lambda } (x1) (+ x1 1))$	T1
$(+ x1 1)$	T2
+	T3
X1	T4
1	T5
4	T6

שלב ג' – יצירת משוואות הטיפוס

T0, T2 – הפעלת פרוצדורה.

T1 – הגדרת פרוצדורה.

T3, T5, T6 – ביטויים אטומים.

משוואות T5, T6 – $T5 = T6 = \text{number}$

משוואת T3 – $T3 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$

משוואת T1 – $T1 = T4 \Rightarrow \text{number}$

משוואת T2 – $T3 = [T4 * T5 \Rightarrow T2]$

משוואת T0 – $T1 = [T4 \Rightarrow T0]$

שלב ד' – פתרון מערכת המשוואות והפעלת ההצבה:
אתחול.

הצבה ריקה:

{}

מאגר משוואות:

T5 = number (1)

T6 = number (2)

T3 = number * number => number (3)

T1 = T4 => T2 (4)

T3 = [T4 * T5 => T2] (5)

T1 = [T6 => T0] (6)

1. נסיר את משוואות 1,2,3 מהמאגר. אחד הצדדים הוא מתשנה טיפוס ולכן נרכיב משוואות אלה עם ההצבה הריקה.

הצבה 1:

{T5 = number,
T6 = number
T3 = number * number => number}

מאגר משוואות:

T1 = T4 => T2 (1)

T3 = [T4 * T5 => T2] (2)

T1 = [T6 => T0] (3)

2. נסיר את משוואה 1 ($T1 = T4 \Rightarrow T2$). נרכיב את הצבה 1 עם משוואה 1 ולא יקרה כלום ונרכיב את משוואה 1 להצבה.

הצבה 2:

{ $T5 = \text{number}$,
 $T6 = \text{number}$
 $T3 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$,
 $T1 = T4 \Rightarrow T2$ }

מאגר משוואות:

(1) $T3 = [T4 * T5 \Rightarrow T2]$
 (2) $T1 = [T6 \Rightarrow T0]$

3. מסיר את משוואה 1 מהמאגר ($T3 = [T4 * T5 \Rightarrow T2]$) ונרכיב אותה עם ההצבה
 $T3 = [T4 * T5 \Rightarrow T2] = \text{substitution } 2 = T4 * T5 \Rightarrow T2 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$
 שני הטיפוסים מורכבים ולכן נוסיף 3 משוואות חדשות למאגר ונסיר את משוואה 1 הנוכחית.

הצבה 3:

{ $T5 = \text{number}$,
 $T6 = \text{number}$
 $T3 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$,
 $T1 = T4 \Rightarrow T2$ }

מאגר משוואות:

(1) $T1 = [T6 \Rightarrow T0]$
 (2) $T4 = \text{number}$
 (3) $T5 = \text{number}$
 (4) $T2 = \text{number}$

4. הסרת משוואה 1 מהמאגר והפעלת הצבה 3 עלייה.
 $T1 = T6 \Rightarrow T0 \circ \text{sub3} = (T1 = T6 \Rightarrow T0) = T1 = T4 \Rightarrow T2$
 לכן נכנסות 3 משוואות חדשות למאגר.

הצבה 4:

{ $T5 = \text{number}$,
 $T6 = \text{number}$
 $T3 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$,
 $T1 = T4 \Rightarrow T2$ }

מאגר משוואות:

(1) $T4 = \text{number}$
 (2) $T5 = \text{number}$
 (3) $T2 = \text{number}$
 (4) $T1 = T1$
 (5) $T6 = T4$
 (6) $T6 = T2$

5. משוואה 4 מיותרת. נוציא את 1 ונבצע הצבה
 $T4 = \text{number} \circ \text{sub4} = (T4 = \text{number})$

לכן נשנה בהצבה הבאה את $T4 = \text{number}$.
 נוציא את משוואה 3 ונ"ל נציב את $T2 = \text{number}$ גם כן.
 בנוסף, משוואה 2 כבר מופיעה אצלנו בהצבות ולכן נמחק גם אותה.

מאגר משוואות:

$$T6 = T4 \quad (1)$$

$$T0 = T2 \quad (2)$$

הצבה 5:

{T5 = number,
T6 = number
T3 = number * number => number,
T1 = number => number,
T4 = number,
T2 = number}

6. נוציא את משוואה 1 ($T6 = T4$). מכאן שע"י ההצבה נראה כי $T6 = \text{number}$ וגם $T4 = \text{number}$.

מאגר משוואות:

$$T0 = T2 \quad (1)$$

הצבה 6:

{T5 = number,
T6 = number
T3 = number * number => number,
T1 = number => number,
T4 = number,
T2 = number}

7. נוציא מהמאגר את משוואה 1 ($T0 = T2$). בהצבות $T2 = \text{number}$ ולכן גם $T0 = \text{number}$ ונוסיף זאת להצבות. לכן נגמרו כלל המשוואות ונקבל:

הצבות:

T5 = number
T6 = number
T3 = number * number => number
T2 = number
T1 = number => number
T0 = number
T4 = number

חיפשנו את הביטוי T0 ולכן ניתן לראות כי קיבלנו **T0 = number**.

(ב)

$((\text{lambda } (f1 \ x1) (f1 \ x1 \ 1)) \ 4 \ +)$

שלב א' – שינוי שמות המשתנים (לא נדרש)

שלב ב' – הגדרת משתנה טיפוס לכל תת ביטוי:

$((\text{lambda } (f1 \ x1) (f1 \ x1 \ 1)) \ 4 \ +)$	T0
$(\text{lambda } (f1 \ x1) (f1 \ x1 \ 1))$	T1
$(f1 \ x1 \ 1)$	T2
4	T3
+	T4
F1	T5
X1	T6
1	T7

שלב ג' – יצירת משוואות הטיפוס:

T3, T4, T7 – ביטויים אטומים.

T1 – הגדרת פרוצדורה.

T0, T2 – הפעלת פרוצדורה.

סה"כ נקבל את המשוואות הבאות:

- 1) $T3 = \text{number}$
- 2) $T7 = \text{number}$
- 3) $T4 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$
- 4) $T1 = T5 * T6 \Rightarrow T2$
- 5) $T5 = T6 * T7 \Rightarrow T2$
- 6) $T1 = T3 * T4 \Rightarrow T0$

שלב ד' – פתרון מערכת המשוואות.

אתחול – מאגר המשוואות הנ"ל וההצבה הריקה.

1. ניקח את משוואות 1,2,3 מהמאגר ומכיוון שצד אחד הוא טיפוס נפעיל את ההצבה הריקה על המשתנים (לא יקרה כלום). ולאחר מכן נפעיל את המשוואות על ההצבה (גם כאן לא יקרה כלום) ולבסוף נוסיף את משוואות 1,2,3 להצבה ונקבל:

הצבה 1:

{ $T3 = \text{number}$
 $T7 = \text{number}$
 $T4 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$ }

מאגר משוואות:

- 1) $T1 = T5 * T6 \Rightarrow T2$
- 2) $T5 = T6 * T7 \Rightarrow T2$
- 3) $T1 = T3 * T4 \Rightarrow T0$

2. ניקח מהמאגר את משוואה 1 ונקבע את "הצבה 1" על משוואה זו. אין טיפוס זהה ולכן נפעיל את המשוואה על ההצבה וגם כאן לא יקרה כלום ולכן נכניס את המשוואה להצבה.

הצבה 2:
 $\{ T3 = \text{number}$
 $T7 = \text{number}$
 $T4 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$
 $T1 = T5 * T6 \Rightarrow T2\}$

מאגר משוואות:
 $T5 = T6 * T7 \Rightarrow T2$ (1)
 $T1 = T3 * T4 \Rightarrow T0$ (2)

3. ניקח מהמאגר את משוואה 2 נפעיל את "הצבה 2" על משוואה זו ונקבל:

$$T1 = (T3 * T4 \Rightarrow T0) = (T5 * T6 \Rightarrow T2)$$

יש לנו טיפוס זהה של משוואה ורכבת לכן נוסיף 3 משוואות חדשות למאגר ונוריד את משוואה 2.

הצבה 3:
 $\{ T3 = \text{number}$
 $T2 = \text{number}$
 $T4 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$
 $T1 = T5 * T6 \Rightarrow T2\}$

מאגר משוואות:
 $T5 = T6 * T7 \Rightarrow T2$ (1)
 $T3 = T5$ (2)
 $T4 = T6$ (3)
 $T0 = T2$ (4)

4. ניקח את משוואה 1 מהמאגר ונפעיל את ההצבה עליו ונקבל:
 $T5 = T6 * T7 \Rightarrow \text{number}$
מכיוון שבצד אחד הוא טיפוס נפעיל את המשוואה על ההצבה.
לבסוף נוסיף את משוואה 1 להצבה.

הצבה 3:
 $\{ T3 = \text{number}$
 $T2 = \text{number}$
 $T4 = \text{number} * \text{number} \Rightarrow \text{number}$
 $T1 = (T6 * T7 \Rightarrow \text{number}) * T6 \Rightarrow T2$
 $T5 = T6 * T7 \Rightarrow \text{number}\}$

מאגר משוואות:
 $T3 = T5$ (1)
 $T4 = T6$ (2)
 $T0 = T2$ (3)

5. נוציא את משוואה 1 מהמאגר ונפעיל את ההצבה עליה. לכן נקבל מההצבה:
 $\text{number} = T6 * T7 \Rightarrow \text{number}$, $T3 = \text{number}$, $T5 = T6 * T7 \Rightarrow \text{number}$ ואלה גוררים כי $\text{number} = T6 * T7 \Rightarrow \text{number}$.
אחד הצדדים אטומי (number) ואילו הצד השני הוא טיפוס פרוצדורה.
לפני חוקי "שפות ה-L" ביטוי זה הינו שגוי לכן נקבל שגיאה בהצבת הטיפוסים ונחזיר שגיאה מהאלגוריתם.

משימה 2:

2.2.b:

הסיבה שהטיפוס החזרה של asyncMemo הוא :

1. אנחנו מפעילים את ה store ולכן הטיפוס יהיה מסוג R -שאלו טיפוסים ה value ולא ה key .

2. Await זה syntacticSugar ליצירת promise.

מ2 סיבות אלו אפשר לראות כי הטיפוס הוא Promise<R>

משימה 3 :

Typing rule define:

For every: type environment $_Tenv$,
variable $_x1$
expressions $_e1$ and
type expressions $_U1$:
given : $\langle \text{define-exp } _e \rangle$
If $_Tenv * \{ _x1 : _U1 \} \vdash _e1 : _U1$
Then $_Tenv \vdash (\text{define } _x1 : _U1 _e1) : \text{Void}$

Typing rule set!:

(set! var val)
For every: type environment $_Tenv$,
variable reference $_x1$
expressions $_e1$ and
type expressions $_U1$:
given : $\langle \text{Set-exp } _x1 _e1 \rangle$
If $_Tenv \vdash _x1 : _U1$
If $_Tenv \vdash _e1 : _U1$
Then $_Tenv \vdash (\text{set! } _x1 _e1) : \text{void}$