עבודה 4 בעקרונות שפות תכנות

# חלק 1

## שאלה 1

נבצע Type inference לפונקציה הנתונה על פי שלבי האלגוריתם המתאים.

((lambda (x1 y1) (if (> x1 y1) #t #f)) 8 3)

שלב 1: Renaming – אין שינוי בשמות המשתנים.

שלב 2: התאמת משתני טיפוס לכל תתי הביטויים.

|  |  |
| --- | --- |
| **Var** | **Expression** |
| T0 | ((lambda (x1 y1) (if (> x1 y1) #t #f)) 8 3) |
| T1 | (lambda (x1 y1) (if (> x1 y1) #t #f)) |
| Tif | (if (> x1 y1) #t #f) |
| Ttest | (> x1 y1) |
| T> | > |
| Tx1 | x1 |
| Ty1 | y1 |
| T#t | #t |
| T#f | #f |
| Tnum8 | 8 |
| Tnum3 | 3 |

שלב 3: בניית משוואות טיפוסים.

|  |  |
| --- | --- |
| **Equation** | **Expression** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0] | ((lambda (x1 y1) (if (> x1 y1) #t #f)) 8 3) |
| T1 = [Tx1 \* Ty1 → Tif] | (lambda (x1 y1) (if (> x1 y1) #t #f)) |
| Tif = T#t  Ttest = boolean  T#t = T#f | (if (> x1 y1) #t #f) |
| T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] | (> x1 y1) |
| T> = [number \* number → boolean] | > |
| T#t = boolean | #t |
| T#f = boolean | #f |
| Tnum8 = number | 8 |
| Tnum3 = number | 3 |

שלב 4: פתרון המשוואות.

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
|  | T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0] |
| T1 = [Tx1 \* Ty1 → Tif] |
| Tif = T#t |
| Ttest = boolean |
| T#t = T#f |
| T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0] | T1 = [Tx1 \* Ty1 → Tif] |
| Tif = T#t |
| Ttest = boolean |
| T#t = T#f |
| T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0] | Tif = T#t |
| Ttest = boolean |
| T#t = T#f |
| T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#t  Ttest = boolean | T#t = T#f |
| T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#f  Ttest = boolean  T#t = T#f | T> = [Tx1 \* Ty1 → Ttest] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#f  Ttest = boolean  T#t = T#f | T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean] |
| T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#f  Ttest = boolean  T#t = T#f  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean] | T> = [number \* number → boolean] |
| T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#f  Ttest = boolean  T#t = T#f  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean] | T#t = boolean |
| T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = T#f  Ttest = boolean  T#t = T#f  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean | T#f = boolean |
| Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [Tnum8 \* Tnum3 → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean | Tnum8 = number |
| Tnum3 = number |
| Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number | Tx1 = Tnum8 |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [Tx1 \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number | Tx1 = number |
| Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [number \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number  Tx1 = number | Ty1 = Tnum3 |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [number \* Ty1 → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number  Tx1 = number | Ty1 = number |
| Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → T0]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [number \* number → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number  Tx1 = number  Ty1 = number | Tif = T0 |
| Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → boolean]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [number \* number → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number  Tx1 = number  Ty1 = number  T0 = boolean | Tx1 = number |
| Ty1 = number |
| boolean = boolean |

|  |  |
| --- | --- |
| **Substitution** | **Equation** |
| T1 = [number \* number → boolean]  Tif = boolean  Ttest = boolean  T#t = boolean  T> = [number \* number → boolean]  T> = [number \* number → boolean]  T#t = boolean  T#f = boolean  Tnum8 = number  Tnum3 = number  Tx1 = number  Ty1 = number  T0 = boolean | ~~T~~~~x1~~ ~~= number~~ |
| ~~T~~~~y1~~ ~~= number~~ |
| ~~boolean = boolean~~ |

## שאלה 2

### סעיף a

נכון.

{f:[T1->T2], x: T1} |- (f x): T2

ניצור משתני טיפוס לכל אחד מתתי הביטויים:

|  |  |
| --- | --- |
| **Var** | **Expression** |
| Tapp | (f x) |
| Tf | f |
| Tx | x |

בהינתן f:[T1->T2], ניתן להסיק כי Tf = [T1 -> T2].

מכלל הגזירה של App Expression נובע Tf = [T1 -> Tapp]. כלומר Tapp = T2.

עוד נתון כי x: T1 ולכן הפעלת f על x תקינה ותניב את ערך מטיפוס T2 כאמור.

לסיכום, (f x): T2.

### סעיף b

לא נכון.

{f:[T1->T2], g: [T2->T3]}, x: T2} |- (f g x): T3

על פי הנתון f:[T1->T2] ניתן להסיק כי f היא פונקציה המקבלת פרמטר אחד (מסוג T1).

לכן ודאי הביטוי (f g x) לא יכול להיות מטיפוס T3, מכיוון שהוא לא ביטוי תקין (הפעלת f על 2 פרמטרים).

### סעיף c

נכון.

{f:[T2->T1], g: [T1->T2], x: T1} |- (f (g x)): T1

על פי הנתונים x: T1 ו- g: [T1->T2] ניתן להסיק כי הפעלת g עם הפרמטר x תקינה, ותניב ערך מטיפוס T2. כלומר (g x): T2.

כמו כן, מהנתון f:[T2->T1] נובע שהפעלת f על הערך שמתקבל מ- (g x) תקינה ותחזיר ערך מטיפוס T1. כלומר (f (g x)): T1.

### סעיף d

לא נכון.

{f:[T2->Number], x: Number} |- (f x x): Number

על פי הנתון f:[T2->Number] ניתן להסיק כי f היא פונקציה המקבלת פרמטר אחד (מסוג T2).

לכן ודאי הביטוי (f x x) לא יכול להיות מטיפוס Number, מכיוון שהוא לא ביטוי תקין (הפעלת f על 2 פרמטרים).

## שאלה 3

הטיפוס של cons הוא [T1 \* T2 -> Pair(T1, T2)].

cons היא פונקציה המקבלת שני פרמטרים, ייתכן כי מטיפוסים שונים, ולכן היא מהצורה  
[T1 \* T2 -> T3].

cons יוצרת משני הפרמטרים שהיא מקבלת זוג סדור המכיל את שני האיברים האלה על פי סדר הפרמטרים, לכן טיפוס הערך המוחזר מ- cons הוא Pair כך שטיפוס האיבר הראשון בו זהה לטיפוס הפרמטר הראשון שניתן לפונקציה cons (כלומר T1), ובדומה טיפוס האיבר השני הוא T2. כלומר, T3 = Pair(T1, T2).

הטיפוס של car הוא [Pair(T1, T2) -> T1].

car היא פונקציה המקבלת פרמטר אחד שהוא זוג המכיל שני איברים, ייתכן כי מטיפוסים שונים, ולכן היא מהצורה [Pair(T1, T2) -> T3].

car מחזירה את האיבר הראשון בזוג. לכן טיפוס הערך המוחזר מ- car זהה לטיפוס של האיבר הראשון בזוג (T1). כלומר T3 = T1.

הטיפוס של cdr הוא [Pair(T1, T2) -> T2].

cdr היא פונקציה המקבלת פרמטר אחד שהוא זוג המכיל שני איברים, ייתכן כי מטיפוסים שונים, ולכן היא מהצורה [Pair(T1, T2) -> T3].

cdr מחזירה את האיבר השני בזוג. לכן טיפוס הערך המוחזר מ- cdr זהה לטיפוס של האיבר השני בזוג (T2). כלומר T3 = T2.

## שאלה 4

להשלים.

## שאלה 5

### סעיף a

עבור {x: T1}, {x: T2} ה-MGU הוא {T1=T2}.

זאת משום ש- {x: T1} o {T1=T2} = {x: T1} o {T1=T2}, וה-unifier הזה מבצע substitution רק עבור הטיפוסים הנחוצים מבלי להניח הנחות נוספות על האיברים המוחלפים. בנוסף, כל שאר ה-unifiers מתקבלים ממנו ע"י הפעלת substitutions נוספים, לכן הוא ה-MGU (עד כדי renaming).

### סעיף b

עבור {x: Number}, {x: Number} ה- MGUהוא { }, כלומר unifier ריק.

זאת משום ש- {x: Number } o { } = {x: Number } o { }, וכל שאר ה-unifiers מתקבלים ממנו ע"י הפעלת substitutions נוספים, לכן הוא ה-MGU.

### סעיף c

עבור

{x: [T1\*[T1->T2]->Number]}, {x: [[T3->Number]\*[T4->Number]->Number]}

ה-MGU הוא **{T1=[T3->Number], T1=T4, T2=Number}**. זאת משום ש-

{x: [T1\*[T1->T2]->Number]} o **{T1=[T3->Number], T1=T4, T2=Number}**  
= {x: [[T3->Number]\*[T4->Number]->Number]} o  
 **{T1=[T3->Number], T1=T4, T2=Number}**  
= {x: [[T3->Number]\*[[T3->Number]->Number]->Number]}

כמו כן, ה-unifier הזה מבצע substitution רק עבור הטיפוסים הנחוצים מבלי להניח הנחות נוספות על האיברים המוחלפים. בנוסף, כל שאר ה-unifiers מתקבלים ממנו ע"י הפעלת substitutions נוספים, לכן הוא ה-MGU (עד כדי renaming).

### סעיף d

עבור {x: [T1->T1]} , {x: [T1->[Number->Number]]}

ה-MGU הוא {T1=[Number->Number]}. זאת משום ש-

x: [T1->T1]} o {T1=[Number->Number]}  
= {x: [T1->[Number->Number]]} o {T1=[Number->Number]}  
= {x: [[Number->Number]->[Number->Number]]}

כמו כן, ה-unifier הזה מבצע substitution רק עבור הטיפוסים הנחוצים מבלי להניח הנחות נוספות על האיברים המוחלפים. בנוסף, כל שאר ה-unifiers מתקבלים ממנו ע"י הפעלת substitutions נוספים, לכן הוא ה-MGU.