אוניברסיטת
אריאל
בשומרון

פקולטה: מדעי הטבע

מחלקה: מדעי המחשב ומתמטיקה

שם הקורס: שפות תכנות

קוד הקורס: 2-7036010

תאריך בחינה: 08/07/2015 סמ' ב' מועד ב'

משך הבחינה: 3 שעות

שם המרצה: ערן עמרי

חומר עזר: אסור

שימוש במחשבון: לא

הוראות כלליות:

- כתבו את תשובותיכם בכתב קריא ומרווח (**במחברת התשובות בלבד** ולא על גבי טופס המבחן עצמו.
- בכל שאלה או סעיף (**שבהם נדרשת כתיבה, מעבר לסימון תשובות נכונות**). ניתן לכתוב – **לא יודע/ת** (מבלי להוסיף דבר מעבר לכך) – ולקבל 20% מהניקוד על השאלה או הסעיף.
- אפשר להסתמך על סעיפים קודמים גם אם לא עניתם עליהם.
- יש לענות על כל השאלות.
- ניתן להשיג עד 109 נקודות במבחן.
- לנוחיותכם מצורפים שני קטעי קוד עבור ה- interpreter של FLANG בסוף טופס המבחן. הראשון – במודל ה-substitution והשני במודל הסביבות.

שאלה 1 — BNF — (20 נקודות):

הערה: שאלה זו קשורה לשאלה 3 בהמשך המבחן. בשאלה 3 נכתוב את שפת הרגיסטרים ROL המאפשרת פעולות לוגיות (על רגיסטרים, שהם למעשה סדרות של אפסים ואחדים). בשאלה זו, עליכם לכתוב תחביר עבור השפה, על-פי הכללים הבאים ועל-פי הדוגמאות מטה (למעשה, הדוגמאות מספיקות).

- כל ביטוי בשפה, הוא מהצורה "{ reg-len = `len` A}", באשר len הוא מספר טבעי ו-A הוא ביטוי המתאר סדרת פעולות על רגיסטרים. ביטוי כזה מקיים את הכללים הבאים:
  - סדרה של אפסים ואחדות – עטופים בסוגריים מסולסלים (בהמשך, נחשוב על סדרה כזו כייצוג של ערך נתון של רגיסטר) – היא חוקית כסדרת פעולות על רגיסטרים.
  - אם B,A סדרות פעולות על רגיסטרים, אז גם הביטוי המתקבל ע"י שימוש באופרטור and או אופרטור or כאשר A, B הם האופרנדים, ועטיפת הביטוי כולו בסוגריים מסולסלים – הוא חוקי כסדרת פעולות על רגיסטרים. גם הביטוי המתקבל ע"י שימוש באופרטור shl כאשר A הוא האופרנד, ועטיפת הביטוי כולו בסוגריים מסולסלים – הוא חוקי כסדרת פעולות על רגיסטרים.
  - ביטויי with וביטויי fun הם חוקיים בדומה מאד למה שעשינו עבור השפה FLANG (כמובן שתתי הביטויים שבעזרתם יוצרים ביטוי חדש, הם עתה סדרת פעולות על רגיסטרים, במקום ביטויים בשפה FLANG).

להלן דוגמאות לביטויים חוקיים בשפה:

```
"{ reg-len =  4  {1 0 0 0}}"

"{ reg-len = 4  {shl {1 0 0 0}}}"

"{ reg-len = 4  {and {shl {1 0 1 0}}{shl {1 0 1 0}}}}"

"{ reg-len = 4  { or {and {shl {1 0 1 0}}  {shl {1 0 0 1}}} {1 0
1 0}}}"

"{ reg-len = 2  { or {and {shl {1 0}} {1 0}} {1 0}}}"

"{ reg-len = 2  { with {x { or {and {shl {1 0}} {1 0}} {1 0}}}
                  {shl x}}}"{ reg-len = 3
                   {with {identity {fun {x} x}}
                     {with {foo {fun {x} {or x {1 1 0}}}}
                         {call {call identity foo} {0 1 0}}}}}"

"{ reg-len = 4  {or {1 1 1 1} {0 1 1}}}"
```

אוניברסיטת
אריאל
בשומרון

סעיף א' BNF (13 נקודות):

כתבו דקדוק עבור השפה ROL בהתאם להגדרות ולדוגמאות מעלה. תוכלו להשתמש ב-<num> בדומה לשימוש שלו כ-FLANG (אל תשתמשו בו עבור ביטים). אתם מוזמנים להשתמש בשלד הדקדוק הבא.

```
#| BNF for the ROL language:

    <ROL>  ::=

    <RegE> ::=


    <Bits> ::=

  |#
```

סעיף ב' (7 נקודות):

עבור כל אחת מן המילים הבאות, קבעו האם ניתן לייצר את המילה מהדקדוק שכתבתם בסעיף א'. אם תשובתכם חיובית, הראו תהליך גזירה עבורה (ניתן להראות עץ גזירה – שימו לב שזהו <u>אינו</u> עץ תחביר אבסטרקטי – בפרט, לא אמורים להופיע בתוכו פונקציות של RACKET). אם תשובתכם שלילית, הסבירו מדוע לא ניתן לגזור את המילה.

1. { reg-len = 1 {+ 1 22}}
2. { reg-len = 3 {or {1 1 0} {0 1}}}
3. { reg-len = 3 {with {f1 {fun {x} {shl {and x y}}}}
   {call {call f1 {0 0 1}} {0 1 0}}}}
4. { reg-len = 3 {call x z}}

אוניברסיטת
אריאל
בשומרון

שאלה 2 — (40 נקודות):

נתון הקוד הבא:

```
(run "{call {with {f {fun {x} x}} f}
        {with {z 2}
          {with {f {fun {y} {* 6 y}}}
            {call f z}}}}")
```

סעיף א' (14 נקודות):

תארו את הפעלות הפונקציה eval בתהליך ההערכה (יש 15 הפעלות) של הקוד מעלה במודל ההחלפות (על-פי ה-interpreter העליון מבין השניים המצורפים מטה) - באופן הבא – לכל הפעלה מספר i תארו את הפרמטר האקטואלי ה - i (AST_i) וכן את הערך המוחזר מהפעלה זו (RES_i) .

הסבירו בקצרה כל מעבר. ציינו מהי התוצאה הסופית.

דוגמת הרצה: עבור הקוד

```
(run "{with {x 1} {+ x 2}}")
```

היה עליכם לענות (בתוספת הסברים)

AST_1 = (With x (Num 1) (Add (Id x) (Num 2)))
RES_1 = (Num 3)
AST_2 = (Num 1)
RES_2 = (Num 1)
AST_3 = (Add (Num 1) (Num 2))
RES_3 = (Num 3)
AST_4 = (Num 1)
RES_4 = (Num 1)
AST_5 = (Num 2)
RES_5 = (Num 2)

Final result: 3

סעיף ב' (4 נקודות):

מה לדעתכם היה קורה לו היינו מבצעים את ההערכה במודל substitution-cache? האם התשובה הייתה זהה או שונה? מדוע? (אין צורך לבצע הערכה; כתבו עד שלוש שורות)

סעיף ג' – Eliminating free instances במודל הסביבות (22 נקודות):

קוד בשפה שכתבנו FLANG המכיל מופעים חופשיים של שמות מזהים הוא קוד שגוי – עליו יש להוציא הודעת שגיאה. באינטרפרטר שכתבנו במודל ההחלפות, הודעת השגיאה ניתנת בזמן הערכת התוכנית. ברצוננו לכתוב פונקציה בוליאנית containsFreeInstance? המקבלת ביטוי (תכנית) בצורת FLANG ומחזירה true אם ורק אם הביטוי מכיל מופעים חופשיים של שמות מזהים – כך שהפונקציה אינה מבצעת שום הערכה סמנטית של התכנית.

הקוד הבא מבוסס על הפונקציה eval (באינטרפרטר של FLANG במודל הסביבות) – השלימו את הקוד במקומות החסרים. הניחו שהקוד נכתב כתוספת לאינטרפרטר הנ"ל ולכן הוא מכיר את כל הפונקציות והטיפוסים שבו. את הפונקציה lookup נצטרך לשנות כדי שתחזיר גם היא ערך בוליאני.

```
(: lookup : Symbol ENV -> Boolean)
(define (lookup name env)
  (cases env
    [(EmptyEnv) <--fill in 1-->]
    [(Extend id val rest-env)
     (if (eq? id name) <--fill in 2-->)]))
```

```
(: containsFreeInstance? : FLANG ENV -> Boolean)
;; checks for free instances -- without evaluating the
expression
 (define (containsFreeInstance? expr env)
    (cases expr
      [(Num n) <--fill in 3-->]
      [(Add l r) (or <--fill in 4-->)]
      [(Sub l r) <--fill in 5-->]
      [(Mul l r) <--fill in 6-->]
      [(Div l r) <--fill in 7-->]
      [(With bound-id named-expr bound-body)
       (or <--fill in 8-->)]
      [(Id name) <--fill in 9-->]
      [(Fun bound-id bound-body)
       <--fill in 10-->]
      [(Call fun-expr arg-expr)
       <--fill in 11-->]))
```

שימו לב: אם נגדיר את פונקציית המעטפת הבאה –

```
(: check-code : String -> Boolean)
(define (check-code str)
  (containsFreeInstance? (parse str) (EmptyEnv)))
```

כל הטסטים הבאים צריכים לעבוד -

```
;tests
(test (check-code "z") => #t)
(test (check-code "{call {fun {x} {/ x 0}} 4}") => #f)
(test (check-code "{call {fun {y} {/ x 0}} 4}") => #t)
(test (check-code "{call foo 4}") => #t)
(test (check-code "{fun {x} {+ x {/ 5 0}}}") => #f)
```

שאלה 3 — Interpreter עבור השפה ROL — (49 נקודות):

לצורך פתרון שאלה זו נעזר בקוד ה- interpreter של FLANG במודל הסביבות, המופיע בסוף טופס המבחן (התחתון מבין השניים המופיעים שם).

בהמשך לשאלה ראשונה, נרצה לממש Interpreter עבור השפה ROL במודל הסביבות ולאפשר שימוש בביטויים ופעולות על רגיסטרים.

להלן דוגמאות לטסטים שאמורים לעבוד:

```
;; tests
 (test (run "{ reg-len =  4  {1 0 0 0}}") => '(1 0 0 0))
 (test (run "{ reg-len = 4  {shl {1 0 0 0}}}") => '(0 0 0 1))
 (test (run "{ reg-len = 4  {and {shl {1 0 1 0}}{shl {1 0 1 0}}}}") => '(0 1 0 1))
 (test (run "{ reg-len = 4  { or {and {shl {1 0 1 0}} {shl {1 0 0 1}}} {1 0 1 0}}}") => '(1 0 1 1))
 (test (run "{ reg-len = 2  { or {and {shl {1 0}} {1 0}} {1 0}}}") => '(1 0))
 (test (run "{ reg-len = 4  {with {x {1 1 1 1}} {shl y}}}") =error> "no binding for")
 (test (run "{ reg-len = 2  { with {x { or {and {shl {1 0}} {1 0}} {1 0}}}
          {shl x}}}") => '(0 1))
 (test (run "{ reg-len = 4  {or {1 1 1 1} {0 1 1}}}") =error> "wrong number of bits in")
 (test (run "{ reg-len =  0  {}}") =error> "Register length must be at least 1")
 (test (run "{ reg-len = 3
            {with {identity {fun {x} x}}
              {with {foo {fun {x} {or x {1 1 0}}}}
                {call {call identity foo} {0 1 0}}}}}")
     => '(1 1 0))
 (test (run "{ reg-len = 3
           {with {x {0 0 1}}
             {with {f {fun {y} {and x y}}}
               {with {x {0 0 0}}
                 {call f {1 1 1}}}}}}")
     => '(0 0 1))
```

לצורך כך נגדיר טיפוס של ביט וטיפוס של רשימה של ביטים.

```
;; Defining two new types
(define-type BIT = (U 0 1))
(define-type Bit-List = (Listof BIT))
```

סעיף א' הטיפוס RegE (8 נקודות):

כיוון שהחלק המרכזי בניתוח הסינטקטי הוא החלק של RegE, נממש רק אותו. בהמשך לשאלה 1 ולטסטים מעלה, כתבו את הטיפוס בהתאם. הוסיפו את הקוד הנדרש (היכן שכתוב –«fill-in»–) ל –

```
;; RegE abstract syntax trees
(define-type RegE
    [Reg  <--fill in 1-->]
    [And  <--fill in 2-->]
    [Or   <--fill in 3-->]
    [Shl  <--fill in 4-->]
    [Id   <--fill in 5-->]
    [With <--fill in 6-->]
    [Fun  <--fill in 7-->]
    [Call <--fill in 8-->])
```

סעיף ב' parse (15 נקודות):

כתבו את הפונקציה parse-sexpr בהתאם. בפונקציה זו, עליכם גם לבדוק שאורך כל רגיסטר הוא בהתאם למה שכתוב בקוד וכן שהוא לפחות 1 (אסור לכתוב תכנית עם רגיסטרים ריקים). הפונקציה הבאה, הינה פונקציית עזר טכנית. השתמשו בה.

```
;; Next is a technical function that converts (casts)
;; (any) list into a bit-list. We use it in parse-sexpr.
  (: list->bit-list : (Listof Any) -> Bit-List)
  ;; to cast a list of bits as a bit-list
  (define (list->bit-list lst)
    (cond [(null? lst) null]
          [(eq? (first lst) 1)(cons 1 (list->bit-list (rest lst)))]
          [else (cons 0 (list->bit-list (rest lst)))]))
```

הוסיפו את הקוד הנדרש (היכן שכתוב –«fill-in»–) ל –

```
  (: parse-sexpr : Sexpr -> RegE)
  ;; to convert s-expressions into RegEs
  (define (parse-sexpr sexpr)
    (match sexpr
      [(list 'reg-len '= (number: len) reg-sexpr)
       (if <--fill in 1--> ;; we do not allow this
           (error <--fill in 2-->)
           <--fill in 3-->]
      [else (error 'parse-sexpr "bad syntax in ~s" sexpr)]))
```

```
(: parse-sexpr-RegL : Sexpr Number -> RegE)
;; to convert s-expressions into RegEs
(define (parse-sexpr-RegL sexpr reg-len)
  (match sexpr
    [(list (and a (or 1 0)) ... )
     (if <--fill in 4--> ;; verifying length
         (<--fill in 5-->)
         (error <--fill in 6-->]
    [(symbol: name) (Id name)]
    [(cons 'with more)
     (match sexpr
       [(list 'with (list (symbol: name) named) body)
        <--fill in 7-->]
       [else (error 'parse-sexpr "bad `with' syntax in ~s" sexpr)])]
    [(list 'and lreg rreg) <--fill in 8-->]
    [(list 'or lreg rreg) <--fill in 9-->]
    [(list 'shl reg) <--fill in 10-->]
    [(cons 'fun more)
     (match sexpr
       [(list 'fun (list (symbol: name)) body)
        <--fill in 11-->]
       [else (error 'parse-sexpr "bad `fun' syntax in ~s" sexpr)])]
    [(list 'call fun arg) (Call <--fill in 12-->]
    [else (error 'parse-sexpr "bad syntax in ~s" sexpr)]))

(: parse : String -> RegE)
  ;; parses a string containing a RegE expression to a RegE AST
  (define (parse str)
    (parse-sexpr (string->sexpr str)))
```

סעיף ג' – פונקציות עזר (6 נקודות):

כדי להגדיר את eval נזדקק לפונקציות העזר הבאות:

הוסיפו את הקוד הנדרש (היכן שכתוב –«fill-in»–) ל –

```
;; Defining functions for dealing with arithmetic operations
;; on the above types
  (: bit-and : BIT BIT -> BIT) ;; Arithmetic and
  (define(bit-and a b)
    <--fill in 1--> ;; using logical and

  (: bit-or : BIT BIT -> BIT) ;; Aithmetic or
  (define(bit-or a b)
    <--fill in 2--> ;; Using logical or
```

סעיף ד' eval (20 נקודות):

נתונים הטיפוסים הנדרשים ונתונות ההגדרות הפורמליות לסמנטיקה של השפה. שימו לב שאנחנו במודל הסביבות.

```
    ;; Types for environments, values, and a lookup function

  (define-type ENV
    [EmptyEnv]
    [Extend Symbol VAL ENV])


(define-type VAL
    [RegV Bit-List]
    [FunV Symbol RegE ENV])

  (: lookup : Symbol ENV -> VAL)
  (define (lookup name env)
    (cases env
      [(EmptyEnv) (error 'lookup "no binding for ~s" name)]
      [(Extend id val rest-env)
       (if (eq? id name) val (lookup name rest-env))]))

  #| Formal specs for `eval':
        Evaluation rules:
    eval(Reg,env)                    = Reg
    eval({and E1 E2},env) =
      (<x1 bit-and y1> <x2 bit-and y2> ... <xk bit-and yk>)
      where eval(E1,env) = (x1 x2 ... xk) and eval(E2,env) = (y1 y2 ... yk)
   eval({or E1 E2},env) =
      (<x1 bit-or y1> <x2 bit-or y2> ... <xk bit-or yk>)
      where eval(E1,env) = (x1 x2 ... xk) and eval(E2,env) = (y1 y2 ... yk)
    eval({shl E},env) = (x2 ... xk x1), where eval(E,env) = (x1 x2 ... xk)
    eval(x,env)                     = lookup(x,env)
    eval({with {x E1} E2},env)      = eval(E2,extend(x,eval(E1,env),env))
    eval({fun {x} E},env)           = <{fun {x} E}, env>
    eval({call E1 E2},env1)
              = eval(Ef,extend(x,eval(E2,env1),env2))
                                    if eval(E1,env1) = <{fun {x} Ef}, env2>
              = error!              otherwise
  |#

  (: RegV->bit-list : VAL -> Bit-List)
    (define (RegV->bit-list v)
      (cases v
        [(RegV n) n]
        [else (error 'RegV->bit-list "expects a bit-list, got: ~s" v)])).
```

עתה נרצה לאפשר לפונקציה eval לטפל בביטויים לוגים ע"פ הגדרות אלו והטסטים מעלה. הוסיפו את הקוד הנדרש (היכן שכתוב –«fill-in»–) ל –

```
(: reg-arith-op : (BIT BIT -> BIT) VAL VAL -> VAL)
    ;; Consumes two registers and some binary bit operation 'op',
    ;; and returns the register obtained by applying op on the
```

```
    ;; i'th bit of both registers for all i.
(define(reg-arith-op op reg1 reg2)
   (: bit-arith-op : Bit-List Bit-List -> Bit-List)
     ;; Consumes two bit-lists and uses the binary bit operation 'op'.
     ;; It returns the bit-list obtained by applying op on the
     ;; i'th bit of both registers for all i.
   (define(bit-arith-op bl1 bl2)
      (if    <--fill in 1-->
          null
          (cons    <--fill in 2-->
 (RegV    <--fill in 3-->)))
```

הפונקציה הבאה ממשת shift-left על רשימה של BIT. כלומר הזזה מחזורית שמאלה.

```
(: shift-left : Bit-List -> Bit-List)
    ;; Shifts left a list of bits (once)
  (define(shift-left bl)
    (if (null? bl)
        <--fill in 4-->
        <--fill in 5-->)

(: eval : RegE ENV -> VAL)
  ;; evaluates RegE expressions by reducing them to bit-lists
  (define (eval expr env)
    (cases expr
      [(Reg n)    <--fill in 6-->]
      [(And l r)    <--fill in 7-->]
      [(Or l r)    <--fill in 8-->]
      [(Shl reg) (RegV (shift-left (RegV->bit-list <--fill in 9-->)))]
      [(With bound-id named-expr bound-body)
       (eval bound-body
              (Extend bound-id (eval named-expr env) env))]
      [(Id name) (lookup name env)]
      [(Fun bound-id bound-body)
       <--fill in 10-->]
      [(Call fun-expr arg-expr)
       (let ([fval (eval fun-expr env)])
         (cases fval
           [<--fill in 11-->]
           [else (error 'eval "`call' expects a function, got: ~s"
                        fval)]))]))
```

שפות תכנות

מרינה סמסונוב, אלינה פרידמן, 8/7/15

שאלה 1:

"{reg-len = len A}"

מה קרה? (אנליזה ל-0)

(א)

<ROL>::= {reg-len = <num> <RegE>}

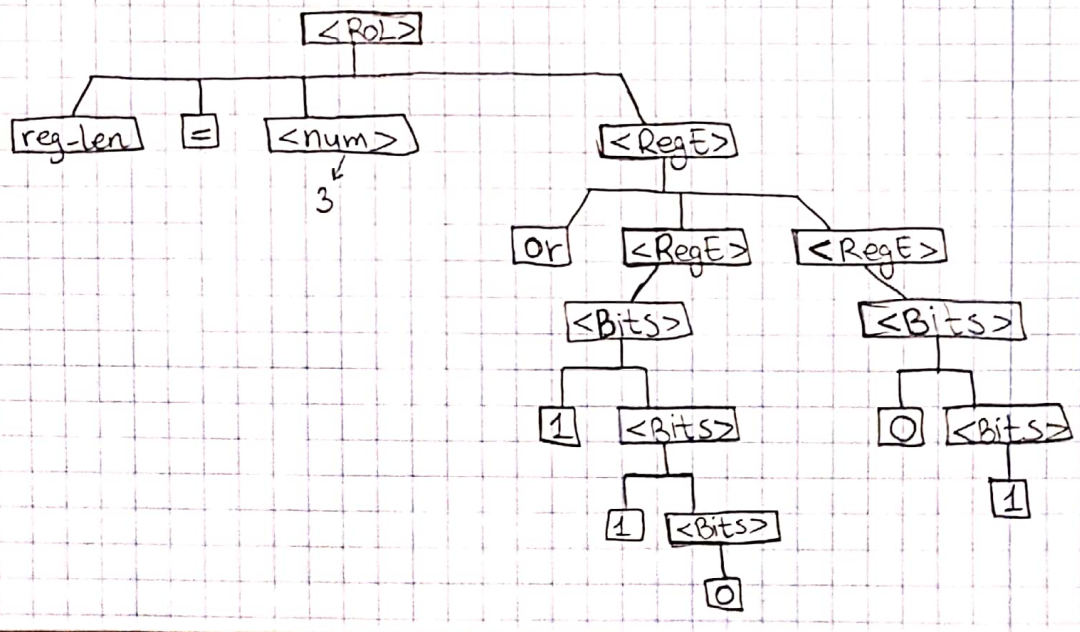
<RegE>::={<Bits>}
| {and <RegE> <RegE>}
| {or <RegE> <RegE>}
| {Shl <RegE>}
| {with {<id> <RegE>} <RegE>}
| {fun {<id>} <RegE>}
| <id>
| {Call <RegE> <RegE>}

<Bits>::= 0
| 1
| 0 <Bits>
| 1 <Bits>

(ב). לא ניתן משום שאין תוקן שגיאה עבור + ,!-2.

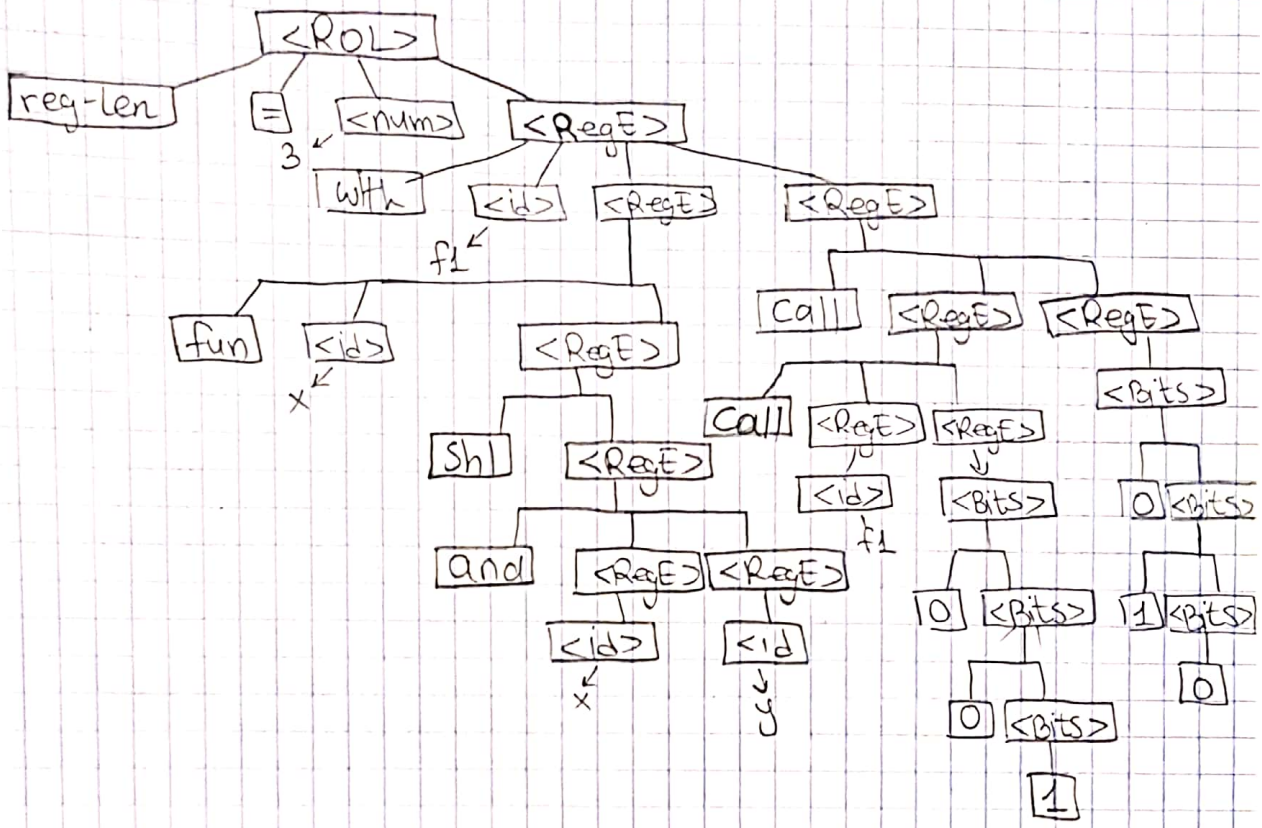
1. {reg-len=1 {+1 22}} →

2. {reg-len = 3 {or {1 10} {01}}}

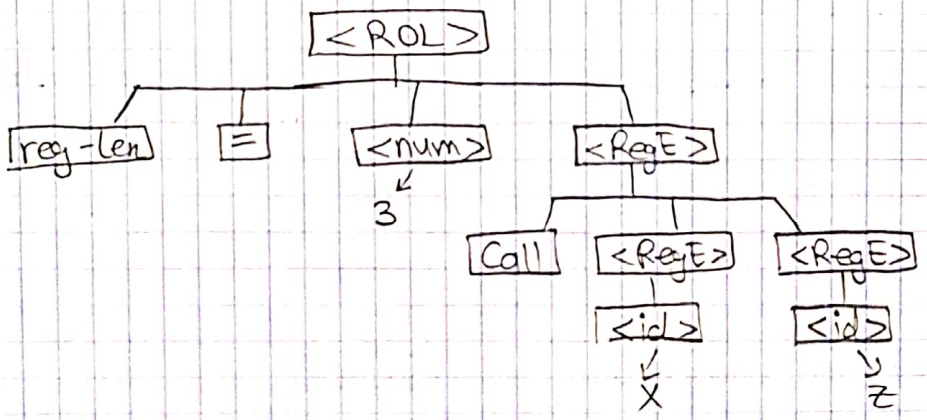


3. {reg-Len = 3 {with {f1 {fun {x} {shl {and x y}}}}
{call {call f1 {0 0 1}} {0 10}}}}

id <RegE> <RegE> <RegE> <RegE>

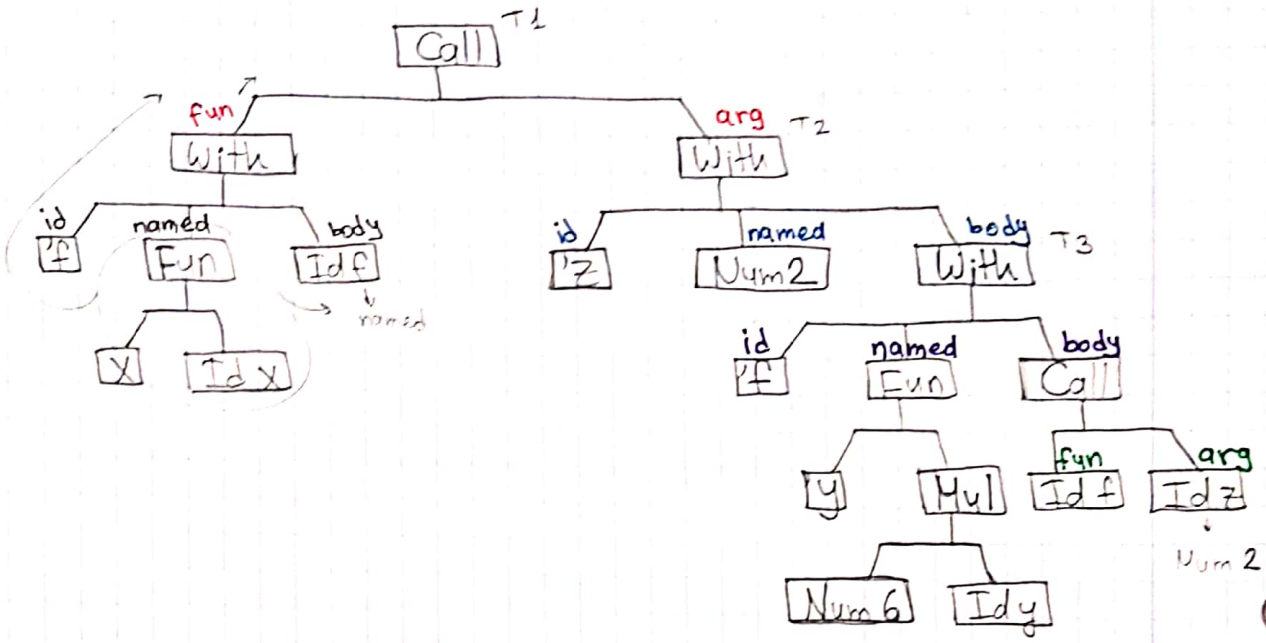


4. {reg-len = 3 {call x z}}



שאלה 2:

(ג) עץ הפרסר -



(ג) .

AST1: T1

Res1: Res 15 = Num 12

eval AST2: (With f (Fun x (Id x)) (Id f)) eval (fun)

Res2: (Fun x (Id x))

AST3: (Fun x (Id x)) eval (named)

Res3: (Fun x (Id x))

AST4: (Fun x (Id x)) eval (body)

Res4: (Fun x (Id x))
id body

→ AST5: T2' eval (arg)

Res5: - Res 7 = (Num 12)

AST6: (Num 2)

Res6: (Num 2)

eval x→Num 2

AST7: T3' eval (body)

Res7: Res 12 = (Num 12)

AST8: (Fun y (Mul (Num6) (Id y))) eval(named)

Res8: (Fun y (Mul (Num6) (Id y)))

subst → Res8

AST9: (Call Res8 (Num 2)) eval(body)

fun arg

Res9: Res8 eval(fun)

id body

AST10: (Fun y (Mul (Num6) (Id y)))

Res10: AST10 eval(arg)

AST11: (Num 2)

Res11: (Num 2)

AST12: (Mul (Num 6) (Num2))

→ Res12: (Num 12)

AST13: (Num 6)

Res13: (Num 6)

AST14: (Num 2)

Res14: (Num 2)

AST15: (Num 12)

$\boxed{\text{Res15: (Num 12)}}$

Call fun arg - ל נשים לב שאנחנו
eval(בהתחלה . כלומר, לפני
Subst
Id x x eval(arg)
(Num 12)

(ב). התוצאה תהיה נכונה, משום שבהתחלה נקשר הערך
ל- fun ב- Call הראשון, ואז נבדק את מה הערך
ל- arg של ה- Call הראשון, וכאשר נתנו תגרה עלק
הערכה "נשמרו" ה- sc שהוגדר שם, משום שכה יתנו
מרקורסיה, אל "נאבדו" את ה-sc שבדק בדרך.

(ג).

1. true
2. false (lookup name rest-env)
3. false
4. (or (CFI l env) (CFI r env))
5. (or (CFI l env) (CFI r env))
6. (or (CFI l env) (CFI r env))
7. (or (CFI l env) (CFI r env))

8. (or (CFI named-expr env)
(CFI bound-body (Extend bound-id (NumV 1)
env))

(Id) 9. (lookup name env)

10. (CFI bound-body (Extend bound-id (NumV 1)
env))

11. (or (CFI fun-expr env) (CFI arg-expr env))

שאלה 3:

.(א)

1. Bit-List
2. RegE RegE
3. RegE RegE
4. RegE
5. Symbol
6. Symbol RegE RegE
7. Symbol RegE
8. RegE RegE

.(ב)

1. (< len 1)
2. (error 'parse-sexpr "Register length must be at least 1")

3. (parse-sexpr-RegL reg-sexpr len)

4. (= (length a) reg-len)
5. (Reg (list→bit-list a))
6. (error 'parse-sexpr-RegL "wrong number of bits in ~s" sexpr)

7. (With name (parse-sexpr-RegL named reg-len)
(parse-sexpr-RegL body reg-len))

8. (And (parse-sexpr-RegL lreg reg-len)
(parse-sexpr-RegL rreg reg-len))

9. (Or (parse-sexpr-RegL lreg reg-len)
(parse-sexpr-RegL rreg reg-len))

10. (Shl (parse-sexpr-RegL reg reg-len))

11. (Fun name (parse-sexpr-RegL body reg-len))

12. (Call (parse-sexpr-RegL fun reg-len)
(parse-sexpr-RegL arg reg-len)).

(ב).

and - שקר - 0 , אמת - 1

and - אמת - 1 , שקר - 0 ⊛

or - אמת - 1 , שקר - 0 ⊛

שני שקרים ⇐ לא יכול לקרוא אמת !

and 1 1 → 1 (1+1=2) | and 1 0 → 0

and 0 0 → 0 (0+0=0) | and 0 1 → 0

fill in - 1. (if (> (+ a b) 1) 1 0)

or 1 1 → 1 (1+1=2) | or 1 0 → 1

or 0 0 → 0 (0+0=0) | or 0 1 → 1

fill in - 2. (if (> (+ a b) 0) 1 0)

(ג).

1. (null? bl1)
2. (cons (op (first bl1) (first bl2))
(bit-arith-op (rest bl1) (rest bl2)))
3. (RegV (bit-arith-op (RegV->bit-list reg1)
(RegV->bit-list reg2)))

4. bl

5. (append (rest bl) (list (first bl)))

6. (RegV n)

7. (reg-arith-op bit-and (eval l env) (eval r env))

8. (reg-arith-op bit-or (eval L env) (eval r))

9. (eval reg env)

10. (FunV bound-id bound-body env)

11. [(FunV bound-id bound-body f-env)
    (eval bound-body
        (Extend bound-id (eval arg-expr env) f-env))]