20 Luglio 2020

Si consideri la seguente grammatica (scritta in ANTLR)

```
prg :  'let' dec 'in' stm ;
dec :  ('int' Id ';')+ ;
exp :  Integers | Id | exp '+' exp ;
stm :  (Id '=' exp ';')+
```

dove

- gli **Integers** sono sequenze non vuote di cifre prefissate dal segno + o −;
- gli Id sono gli identificatori (sequenze non vuote di caratteri);

Esercizi

1. (**punti 2**) completare l'input di ANTLR con le regole per l'analizzatore lessicale che riguardano Integers e Id;
2. (**punti 9**) dare tutte le regole di inferenza per verificare l'uso di identificatori non inizializzati. Ad esempio `let int x; int y; in x = 3 + y ;` è un programma erroneo secondo l'analisi semantica. L'analisi semantica ritorna anche informazioni sull'offset degli identificatori (vedi punto 4);
3. (**punti 4**) verificare, scrivendo l'albero di prova, che il programma seguente sia correttamente tipato:

   `let int x; int y; in y = 5 ; x = 3 + y ;`

2.

$$\frac{x \notin dom(top(\Gamma))}{\Gamma, n \vdash T\ x; : \Gamma[(x \to \emptyset, n)], n+1}\ [dec]$$

$$\frac{\Gamma, n \vdash e : T \qquad x \in dom(top(\Gamma))}{\Gamma, n \vdash x = e : \Gamma[(x \to T, n')], n}$$

$$\frac{\overset{+ : int \times int \to int}{\Gamma, n \vdash e_1 : int \qquad \Gamma, n \vdash e_2 : int}}{\Gamma, n \vdash e_1 + e_2 : int}$$

seq, num, ...

3

$$\frac{\dfrac{\dfrac{x \in dom(t.\Gamma)}{\Gamma \cdot [\,] \vdash int\ x : \Gamma'}\ {\scriptstyle x \to \emptyset} \qquad \Gamma' \vdash int\ y : \Gamma''\ {\scriptstyle \begin{matrix} x \to \emptyset \\ y \to \emptyset \end{matrix}}}{\Gamma \cdot [\,] \vdash int\ x ; int\ y; : \Gamma''} \qquad \dfrac{\dfrac{\overset{y \in dom(t.\Gamma)}{\Gamma'' \vdash 5 : int}}{\Gamma'' \vdash y = 5 : \Gamma'''}\ \left({\scriptstyle \begin{matrix} x \to \emptyset \\ y \to int \end{matrix}}\right) \qquad \dfrac{x \in dom(t.\Gamma) \qquad \dfrac{\overset{+ : int \times int \to int}{\Gamma \vdash 3 : int \qquad \Gamma \vdash y : int}}{\Gamma \vdash 3 + y : int}}{\Gamma''' \vdash x = 3 + y : \Gamma^{IV}}\ \left({\scriptstyle \begin{matrix} x \to int \\ y \to int \end{matrix}}\right)}{\Gamma'' \vdash y = 5 ; x = 3 + y}}{\Gamma \vdash let\ int\ x ; int\ y ; in\ y = 5 ; x = 3 + y}$$

3 Luglio 2020

Si consideri la seguente grammatica (scritta in ANTLR)

```
prg :  'let' dec 'in' stm ;
dec :  (type Id ';')+ ;
type:  'int' | 'double' ;
exp :  Integers | Doubles | Id | exp '+' exp ;
stm :  (Id '=' exp ';')+
```

Id = (type) exp

dove

- gli Integers sono sequenze non vuote ndi cifre prefissate dal segno + o −;
- i Doubles sono sequenze non vuote di cifre con esattamente un punto "." e prefissate dal segno + o −;
- gli Id sono gli identificatori (sequenze non vuote di caratteri);
- l'operazione di somma "+" è *overloaded*, cioè: in $e1$+$e2$, se sia $e1$ che $e2$ sono interi, allora il risultato è un intero, altrimenti è un double;
- nell'assegnamento `x = e ;`
  - se x è intero ed e è double allora il valore di e viene troncato prima di essere memorizzato in x;
  - se x è double ed e è intero allora il valore di e viene esteso con ".0" prima di essere memorizzato in x.

Esercizi

9 1. dare tutte le regole di inferenza per la verifica dei tipi del linguaggio di sopra. [**SUGGERIMENTO**: La regola di inferenza del programma ritorna un stm in un linguaggio esteso in cui si aggiungono i cast espliciti "`x = (double)e ;`" oppure "`x = (int)e ;`" dove sono necessari;]

4 2. verificare, scrivendo l'albero di prova, che il programma seguente sia correttamente tipato:

`let double x; int y; in y = 5.4 ; x = 3 + y ;`

2 3. scrivere un programma che non sia tipabile nel sistema definito e spiegarne il motivo;

$$\frac{\emptyset \cdot [\,] \cdot dec : \Gamma \qquad \Gamma \vdash stm}{\emptyset \vdash let\ dec\ in\ stm}$$

$$\frac{x \in dom(T(\Gamma))}{\Gamma \vdash T\ x}$$

$$\frac{}{\Gamma \vdash num : int} \qquad \frac{}{\Gamma \vdash num : double}$$

$$\frac{\overset{+ : int \times int \to int}{\Gamma \vdash e_1 : int \quad \Gamma \vdash e_2 : int}}{\Gamma \vdash e_1 + e_2 : int} \qquad \frac{\overset{+ : T_1 \times T_2 \to double}{\Gamma \vdash e_1 : T_1 \quad \Gamma \vdash e_1 : T_2}}{\Gamma \vdash e_1 + e_2 : double} \qquad \frac{\Gamma(x) = T}{\Gamma \vdash x : T}$$

$$\frac{\overset{T_1 = T_2}{\Gamma \vdash x : T_1 \quad \Gamma \vdash e : T_2}}{\Gamma \vdash x = e ;} \qquad \frac{\Gamma \vdash x : T \quad \Gamma \vdash e : T_1}{\Gamma \vdash x = (T)\ e}$$

$$\frac{\dfrac{\dfrac{x \notin dom(T(\Gamma))}{\emptyset \cdot [\,] \vdash double\ x : \Gamma}\ {\scriptstyle x \to d} \qquad \dfrac{y \notin dom(T(\Gamma))}{\Gamma \vdash int\ y : \Gamma'}\ {\scriptstyle \begin{matrix} x \to d \\ y \to int \end{matrix}}}{\emptyset \cdot [\,] \vdash double\ x ; int\ y : \Gamma'} \qquad \dfrac{\dfrac{\dfrac{\Gamma(y) = d}{\Gamma' \vdash y : d} \qquad \Gamma' \vdash 5.4 : d}{\Gamma' \vdash y = 5.4} \qquad \dfrac{\dfrac{\Gamma(x) : int}{\Gamma \vdash x : int} \qquad \dfrac{\overset{+ : int \times double \to double}{\Gamma' \vdash 3 : int \quad \Gamma' \vdash y : double}}{\Gamma \vdash 3 + y : double}}{x = 3 + y : double}}{\Gamma' \vdash y = 5.4 ; x = 3 + y}}{\emptyset \vdash let\ double\ x ; int\ y ; in\ y = 5.4 ; x = 3 + y}$$

```
prg  :  dec* exp ;
dec  :  type ID '=' exp ';' | type ID '(' fPar ')' '=' exp ';' ;
fPar :  type ID (',' type ID)* ;
exp  :  NUM | ID | ID '(' exp (',' exp)* ')' | exp '+' exp | exp '&&' exp ;
```

13 luglio 2022

$$\dfrac{\vdots}{\Gamma \vdash prog}\ (prog)$$

$$\dfrac{\Gamma \vdash prog}{\emptyset \Vdash prog}\ [MAIN]$$

Γ con i tipi delle funzioni

prevista dell'albero

$$\dfrac{\Gamma \cdot [\,] \vdash dec : \Gamma' \quad \Gamma' \vdash exp}{\Gamma \vdash dec\ exp}\ [PRG]$$

$$\dfrac{x \notin dom(top(\Gamma)) \quad \Gamma \vdash exp : T' \quad T = T'}{\Gamma \vdash T\, x = exp : \Gamma[x \mapsto T]}$$

$$\dfrac{\Gamma \vdash d : \Gamma' \quad \Gamma' \vdash D : \Gamma''}{\Gamma \vdash d; D : \Gamma''}\ (dec*)$$

$$\dfrac{\Gamma[x_1 \to T_1 \cdots x_n \to T_n] \vdash exp : T' \quad T = T' \quad f \notin dom(top(\Gamma))}{\Gamma \vdash T\, f\, (x_1 \cdots x_n) = exp : \Gamma[f \to T_1 \times \ldots \times T_n \to T]}$$

$$\dfrac{\Gamma \cdot [\,] \vdash fpar : \Gamma' \quad \Gamma' \vdash exp \ldots}{\Gamma \vdash T\, f\, (fpar) \ldots}$$

$$\dfrac{x \notin dom(top(\Gamma))}{\Gamma \vdash T\, x : \Gamma'} \qquad \dfrac{\Gamma \vdash d : \Gamma' \quad \Gamma' \vdash D : \Gamma''}{\Gamma \vdash d, D : \Gamma''}\ (fpar*)$$

$+ := int \times int \to int$

$\&\& := bool \times bool \to bool$

$$\dfrac{}{\Gamma \vdash NUM : int} \qquad \dfrac{\Gamma(ID) : T}{\Gamma \vdash ID : T} \qquad \dfrac{\Gamma \vdash exp_1 : int \quad \Gamma \vdash exp_2 : int}{\Gamma \vdash exp_1 + exp_2 : int} \qquad \dfrac{\Gamma \vdash exp_1 : bool \quad \Gamma \vdash exp_2 : bool}{\Gamma \vdash exp_1\ \&\&\ exp_2 : bool}$$

$$\dfrac{\Gamma \vdash f : T_1 \times \cdots \times T_n \to T \quad (\Gamma \vdash x_i : T_i')_{i=1..n} \quad (T_i = T_i')_{\forall i=1..n}}{\Gamma \vdash f\, (x_1 \cdots x_n) : T}$$

```
int z = 3 ;
int f(int x) = g(x,z) + 1 ;
int g(int u, int v) = f(u+v) ;
f(1)+g(2,z)
```

$$\Gamma'' \vdash z : int$$

$$\dfrac{\Gamma'' \vdash g : int \times int \to int \quad \Gamma'' \vdash x : int}{\Gamma'' \vdash g(x,z) : int \quad \Gamma'' \vdash 1 : int \quad \vdash : int \ldots}$$

$$x \notin dom(top(\Gamma' \cdot [\,]))$$

$$\dfrac{}{\Gamma \cdot [\,] \vdash 3 : int} \quad z \notin dom(top(\Gamma)) \quad \Gamma' \cdot [\,] \vdash int\ x : \Gamma'' \quad \Gamma'' \vdash g(x,z)+1 : int \quad f \notin dom(top(\Gamma)) \quad int = int$$

$$\Gamma \cdot [\,] \vdash int\ z=3 : \Gamma'_{z \to int} \quad \Gamma' \vdash int\ f(int\ x) = g(x,z)+1 : \Gamma'$$

$$\Gamma \cdot [\,] \vdash int\ z=3;\ int\ f(int\ x) = g(x,z)+1 : \Gamma'$$

$$u \notin dom(top(\Gamma))$$

$$\Gamma''' \cdot [\,] \vdash int\ u : \Gamma''' \quad \Gamma''' \vdash int\ v : \Gamma^{IV}$$

$$\Gamma^{IV} \vdash u : int \quad \Gamma^{IV} \vdash v : int \quad \vdash \ldots$$

$$\Gamma^{IV} \vdash f : int \to int \quad \Gamma^{IV} \vdash u+v : int$$

$$\Gamma''' \cdot [\,] \vdash int\ u, int\ v : \Gamma^{IV} \quad \Gamma^{IV} \vdash f(u+v)$$

$$\Gamma' \vdash int\ g(int\ u, int\ v) = f(u+v) : \Gamma'$$

$$\Gamma \cdot [\,] \vdash int\ z=3;\ int\ f(int\ x) = g(x,z)+1;\ int\ g(int\ u, int\ v) = f(u+v);\ : \Gamma \cdot [z \to int] \qquad \Gamma' \vdash \underbrace{f(1)+g(2,z)}\ [prog]$$

f : int → int
g : int × int → int

$$\Gamma \vdash int\ z=3;\ int\ f(int\ x) = g(x,z)+1;\ int\ g(int\ u, int\ v) = f(u+v);\ f(1)+g(2,z) \quad [MAIN]$$

$$\emptyset \Vdash int\ z=3;\ int\ f(int\ x) = g(x,z)+1;\ int\ g(int\ u, int\ v) = f(u+v);\ f(1)+g(2,z)$$

$$\Gamma'(z) : int$$

$$\dfrac{\dfrac{\Gamma' \vdash f : int \to int \quad \Gamma' \vdash 1 : int}{\Gamma' \vdash f(1) : int} \quad \dfrac{\Gamma' \vdash g : int \times int \to int \quad \dfrac{}{\Gamma' \vdash 2 : int} \quad \Gamma' \vdash z : int}{\Gamma' \vdash g(2,z) : int}}{\Gamma' \vdash f(1)+g(2,z)}$$