Trabajo Practico Final
Análisis del Lenguaje de Programación
Sistema F

Ramiro Gatto

.../.../2025

1. Descripción del Proyecto

La idea principal del proyecto es la de implementar un EDSL sobre el Sistema F, el cual permita la evaluación de alguno términos del mismo. Para que el proyecto se simple se eligieron un par de tipos bases para el evaluador, los cuales son:

- Empty
- Booleanos
- Naturales
- Listas (de cualquier tipo)

Además, para el evaluador también se definió lo siguiente:

- Chequeador de tipos
- Pretty-printer
- Parser

Para poder realizar el evaluador se tomo como base el Trabajo Practico Nº2 [1], el cual se extendió/modifico para satisfacer con lo requerido.

2. Manual de uso e Instalacion del software

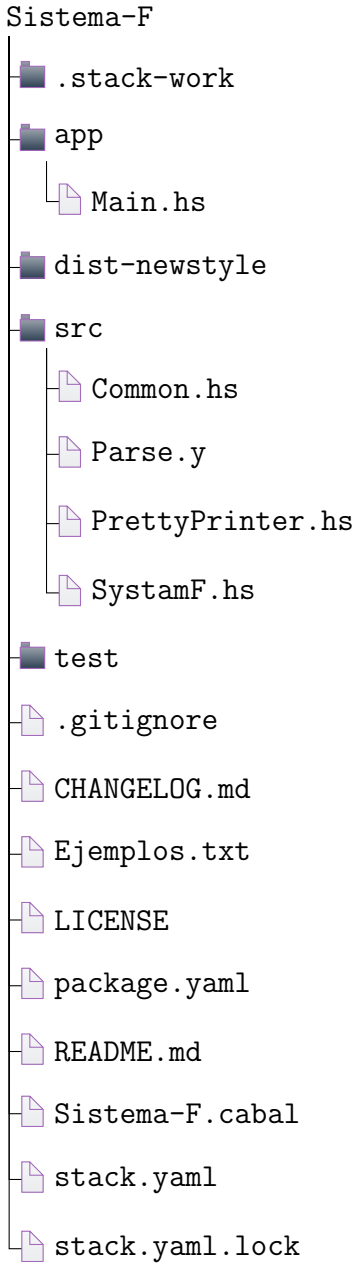
Para poder usar el evaluador se va a necesita de Stack [2], una vez instalado se tiene que abrir una consola en el directorio Sistema-F y ejecutar:

1. stack setup (una única vez)
2. stack build
3. stack exec Sistema-F-exe

Con las dos primeras lineas compilamos el proyecto y con la tercera lo ejecutamos.

3. Organización de los archivos

La organización de los archivos del proyecto es la siguiente:



Ahora, expliquemos la función de los archivos en las carpetas app y src que son la principales para el funcionamiento del proyecto, el resto de los archivos son de configuración:

3.1. app

3.1.1. Main.hs

Este archivo es donde comienza la ejecución del programa al compilarse y ejecutarse (implementa el ejecutable final).

3.2. src

3.2.1. Common.hs

En este archivo es donde se encuentran las definición de tipo y de valores. Es decir es donde se definen los términos y valores que se utilizaran.

3.2.2. Parse.y

Para generar el parser utilizaremos happy. En este archivo se generan los parsers a utilizar, los tokens que aceptar el parse, entre mas funciones. También es donde se define el lexer que se utilizara como analizador lexicográfico de la entrada.

Para crear el archivo se utilizo el parser.y del TP^{o}2 [1] y la documentación de Happy [3].

3.2.3. PrettyPrinter.hs

Para poder mostrar los términos se utilizo la biblioteca pretty printing, la cual consiste en una serie de combinados desarrollada por John Hughes. Aca es donde se encentra implementado el pretty printer para el Sistema F.

3.2.4. SystamF.hs

En este archivo es donde se implementan las funciones del interprete y el chequeador de tipo.

4. Decisiones de diseño importantes

4.1. Representación del Sistema F

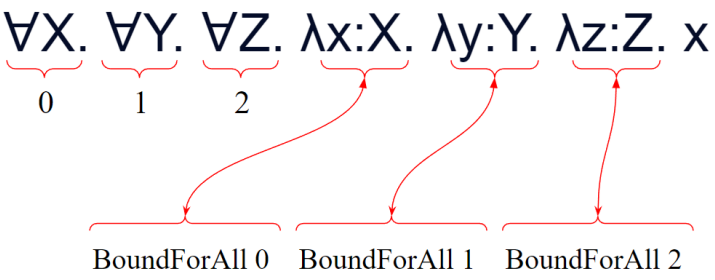
Los tipos, valores y términos en el Sistema F están dados por la siguientes gramática:

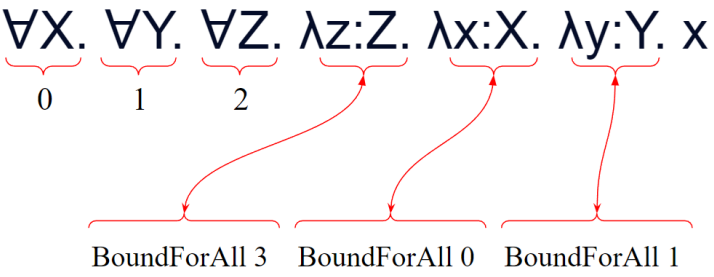
$$
\begin{aligned}
T &::= E \mid T \to T \mid X \mid \forall X\ .\ T \mid Bool \mid Nat \mid List\ T \mid ListEmpty \\
v &::= True \mid False \mid nv \mid \lambda x : T.\ t \mid \Lambda X\ .\ t \\
nv &::= 0 \mid suc\ nv \\
t &::= x \mid \lambda x : T.\ t \mid t\ t \mid ifthenelse\ t\ t\ t \mid \Lambda X\ .\ t \mid t\ \langle X \rangle
\end{aligned}
$$

La implementación de estos se encuentra en el archivo **src/Common.hs** y es la siguiente:
Para los tipos es:

```
data Type = EmptyT
          | ListTEmpty
          | FunT Type Type
          | BoundForAll Int
          | VarT String
          | ForAllT Type
          | BoolT
          | NatT
          | ListT Type
          deriving (Show, Eq)
```

BoundForAll no es un tipo perse (no aparece en la gramática anterior), sino que su función es similar a la idea de los indices de De Brujin. Este indica a que **para todo** esta ligada la variable cuantificada.





En un inicio la idea era poner esto con los Term, pero como esta idea esta relacionada con los tipos resulto mas practico agregarlo aca.

Para las expresiones del lambda calculo es:

```
data LamTerm  =  LVar String
              |  LAbs String Type LamTerm
              |  LApp LamTerm LamTerm
              |  LTAbs String LamTerm
              |  LTApp LamTerm Type
              |  LTrue
              |  LFalse
              |  LIfThenElse LamTerm LamTerm LamTerm
              |  LZero
              |  LSuc LamTerm
              |  LRec LamTerm LamTerm LamTerm
              |  LNil
              |  LCons LamTerm LamTerm
              |  LRecL LamTerm LamTerm LamTerm
             deriving (Show, Eq)
```

Al igual que en el Trabajo Practico 2 [1] surge el problema del uso de nombre de variables, al momento de realizar operaciones como la sustitución. Para arreglar esto se mantiene la misma idea de usar la representación con **indices de De Brujin**.

Al usar una representación sin nombre surge el problema de no tener variables libres, entonces para esto usamos la representación localmente sin nombres (donde variables libres y ligadas estan en diferentes categorías sintácticas).

Al utilizar esta representación los términos quedan asi:

```
data Term  = Bound Int
           | Free Name
           | Term :@: Term
           | Lam Type Term
           | ForAll Term
           | TApp Term Type
           | T
           | F
           | IfThenElse Term Term Term
           | Zero
           | Suc Term
           | Rec Term Term Term
           | Nil
           | Cons Term Term
           | RecL Term Term Term
         deriving (Show, Eq)
```

4.1.1. Evaluación

Para la evaluación el interprete sigue el orden de reducción **call-by-value** donde tenemos las siguientes reglas, cuales son las presentes en el TP Nº2 [1] y el apunte de clase de Sistema F [4]:

$$\frac{t_1 \to t_1'}{t_1\ t_2 \to t_1'\ t_2}\ \text{(E-App1)} \qquad \frac{t_2 \to t_2'}{v\ t_2 \to v\ t_2'}\ \text{(E-App2)} \qquad \frac{}{(\lambda x : T_1\ .\ t_1)v \to t_1[x/v]}\ \text{(E-AppAbs)}$$

$$\frac{ifthenelse\ T\ t_2\ t_3}{t_2}\ \text{E-IFTrue} \qquad \frac{ifthenelse\ F\ t_2\ t_3}{t_3}\ \text{E-IFFalse}$$

$$\frac{t_1 \to t_1'}{ifthenelse\ t_1\ t_2\ t_3 \to ifthenelse\ t_1'\ t_2\ t_3}\ \text{E-IF}$$

$$\frac{}{R\ t_1\ t_2\ 0 \to t_1}\ \text{E-RZero} \qquad \frac{}{R\ t_1\ t_2 (suc\ t) \to t_2 (R\ t_1\ t_2\ t) t}\ \text{E-RSuc} \qquad \frac{t_3 \to t_3'}{R\ t_1\ t_2\ t_3 \to R\ t_1\ t_2\ t_3'}\ \text{E-R}$$

$$\frac{}{RL\ t_1\ t_2\ nil \to t_1}\ \text{E-RNil} \qquad \frac{}{RL\ t_1\ t_2 (cons\ t\ l) \to t_2\ t\ l\ (RL\ t_1\ t_2\ l)}\ \text{E-RCons}$$

$$\frac{t_3 \to t_3'}{RL\ t_1\ t_2\ t_3 \to RL\ t_1\ t_2\ t_3'}\ \text{E-RL} \qquad \frac{t_1 \to t_1'}{cons\ t_1\ t_2 \to cons\ t_1'\ t_2}\ \text{E-Cons1} \qquad \frac{t_2 \to t_2'}{cons\ t_1\ t_2 \to cons\ t_1\ t_2'}\ \text{E-Co}$$

$$\frac{t_1 \to t_1'}{t_1\ \langle T\rangle \to t_1'\ \langle T\rangle}\ \text{E-TApp} \qquad \frac{}{(\Lambda X\ .\ t)\ \langle T\rangle \to t[T/X]}\ \text{E-TAppAbs}$$

4.1.2. Tipos

Para realizar la inferencia de tipo usamos las siguientes reglas, las cuales al igual que en el tema de la evaluación son las presentes en el TP N^{o}2 [1] y el apunte de clase de Sistema F [4]:

$$\frac{}{\Gamma \vdash T\ :\ Bool}\ \text{T-True} \qquad \frac{}{\Gamma \vdash F\ :\ Bool}\ \text{T-False} \qquad \frac{\Gamma \vdash t_1 : Bool \quad \Gamma \vdash t_2 : T \quad \Gamma \vdash t_3 : T}{\Gamma \vdash ifthenelse\ t_1\ t_2\ t_3\ :\ T}\ \text{T-IF}$$

$$\frac{}{\Gamma \vdash 0\ :\ Nat}\ \text{T-Zero} \qquad \frac{\Gamma \vdash t\ :\ Nat}{\Gamma \vdash suc\ t\ :\ Nat}\ \text{T-Suc}$$

$$\frac{\Gamma \vdash t_1 : Nat \quad \Gamma \vdash t_2 : T \ \to\ Nat \to\ T \quad \Gamma \vdash t_3 : Nat}{\Gamma \vdash suc\ R\ t_1\ t_2\ t_3\ :\ T}\ \text{T-Rec}$$

$$\frac{}{\Gamma \vdash 0\ :\ ListEmpty}\ \text{T-Nil} \qquad \frac{\Gamma \vdash t_1\ :\ T \quad \Gamma \vdash t_2\ :\ List\ T}{\Gamma \vdash cons\ t_1\ t_2\ :\ List\ T}\ \text{T-Cons}$$

$$\frac{\Gamma \vdash t_1 : T \quad \Gamma \vdash t_2 : T_1 \ \to\ List\ T_1 \to\ T \to\ T \quad \Gamma \vdash RL\ t_1\ t_2\ t_3 : T}{\Gamma \vdash suc\ R\ t_1\ t_2\ t_3\ :\ T}\ \text{T-RL}$$

$$\frac{\Gamma, X \vdash t : T}{\Gamma \vdash \Lambda X\ .\ t : \forall X\ .\ T}\ \text{T-TAbs} \qquad \frac{\Gamma \vdash t_1 : \forall X\ .\ T}{\Gamma \vdash t_1\langle T_2\rangle : T[T_2/X]}\ \text{T-TApp}$$

4.2. Mostrar terminos

Al igual que en el TP N^{o}2 [1] se va a utilizar la biblioteca **pretty printing**. En el archivo **src/PrettyPrinter.hs** es implementado el **pretty printing** para el sistema F.

4.3. Ejmplos con resultados

Una vez compilado y ejecutado el programa nos aparecera por consola esto:

```
Intérprete de Sistema F
Escriba :? para recibir ayuda.
SF>
```

Luego si se quiere ejecutar una expresión del Sistema F, se la ingresa por teclado, se presiona el enter y listo. Veamos ejemplos (estos ejemplos están en el archivo Ejemplos.txt para que puedan ser testeados sin problemas):

4.3.1. Funcion identidad polimorfica

En el Sistema F se escribiría: $\forall X.\ \lambda$x:X. x
En la consola escribimos: /\X. \x:X . x
Si quisiéramos evaluarla a un natural escribimos: (/\X. \x:X . x <Nat>) (suc 0)
El cual se reduce a: suc 0

4.3.2. Funcion length para listas polimorfica

En el Sistema F se escribiría: $\forall X.\ \lambda xs : List\ X$. RL 0 ($\lambda$x:X .ys:List X .r:Nat .$suc\ r$) xs
En la consola escribimos: (/\X. (\xs:List X. RL 0 (\x:X .\ys:List X. \r:Nat. suc r) xs))
Si quisiéramos evaluarla a un lista de lista de naturales escribimos: ((/\X. (\xs:List X. RL 0 (\x:X .\ys:List X. \r:Nat. suc r) xs)) <List Nat>) (cons (cons 0 nil) nil)
El cual se reduce a: suc 0

(Si se prueba con nil da como resultado 0)

4.3.3. Funcion que toma como argumento una funcion polimorfica

En el Sistema F se escribiría: $\forall X.\ \lambda a : A.\ \lambda b : (\forall B.B \to B).\ b$
En la consola escribimos: (/\A. \a:A. \b:(\/B. B -> B) . b)
Si quisiéramos evaluarla podria ser algo asi: (((((/\A. \a:A. \b:(\/B. B -> B) . b) <Nat>) 0) (/ \X. \x:X. x)) <Bool>) T
El cual se reduce a: T

Referencias

[1] Cátedra de Análisis del Lenguaje de Programación. Trabajo practico n^{o}2. *Departamento de Ciencias de la Computación*, 2024.

[2] Mike Pilgrem. Stack documentation, haskell. https://docs.haskellstack.org/en/stable/.

[3] Andy Gill and Simon Marlow. Happy documentation, haskell. https://haskell-happy.readthedocs.io/en/latest/.

[4] Cátedra de Análisis del Lenguaje de Programación. Polimorfismo. *Departamento de Ciencias de la Computación*, 2024.