

Indice

1	Introduzione	3
1.1	Stato dell'arte	3
1.1.1	Premesse	3
1.1.2	Limiti di λ Prolog	4
1.2	ELPI	5
1.2.1	Introduzione al linguaggio	5
1.2.2	Sistema di propagazione dei vincoli	6
1.3	Haskell	8
1.3.1	BNF	8
1.3.2	Case	9
1.3.3	Let-in	9
1.3.4	Type class	9
2	Implementazione	11
2.1	STLC	11
2.1.1	Implementazione	11
2.2	Case e funzioni ricorsive	13
2.3	Type class e schema	13
2.3.1	Implementazione	13
2.4	Let-in	16
2.4.1	Implementazione	16
3	Conclusioni	17
3.1	Riassumendo	17

3.2	Finalità	17
3.3	La mia esperienza con ELPI	17
3.4	Il mio lavoro	17
3.5	Sviluppi futuri	17
3.5.1	Parser	17
3.5.2	Testing	17
3.5.3	Estensioni	17
A	Implementazione del costruito case	19
B	Implementazione del costruito let-in	21

Capitolo 1

Introduzione

Il lavoro da me svolto consiste nell'implementazione dell'algoritmo di type inference di Haskell in ELPI.

1.1 Stato dell'arte

1.1.1 Premesse

Iniziamo questa trattazione ponendo alcune basi. Esse faciliteranno la comprensione degli argomenti successivi.

Haskell Haskell è un linguaggio di programmazione che adotta il paradigma di programmazione funzionale. Al suo interno è presente il lambda calcolo e il meccanismo delle type class; è presente inoltre una parte più ampia che corrisponde alle librerie.

Type inference La type inference è il rilevamento automatico del tipo di dato di un'espressione in un linguaggio di programmazione. La capacità di dedurre i tipi automaticamente semplifica molte attività di programmazione, lasciando il programmatore libero di omettere le annotazioni sui tipi pur consentendo il type check.

ELPI ELPI è un linguaggio di programmazione logico. Esso è un'estensione con vincoli del linguaggio λ Prolog, il quale a sua volta è un'estensione di Prolog a una logica di ordine superiore.

Prolog Prolog è un linguaggio di programmazione che adotta il paradigma di programmazione logica. Si basa sul calcolo dei predicati (logica del prim'ordine); la sintassi è composta da formule dette clausole. L'esecuzione di un programma Prolog è comparabile alla dimostrazione di un teorema mediante la regola di inferenza detta risoluzione (essa permette di passare da un numero finito di proposizioni assunte come premesse a una proposizione che funge da conclusione). I concetti fondamentali di questo linguaggio sono l'unificazione, la ricorsione in coda e il backtracking.

Clausola La clausola è una disgiunzione di letterali del prim'ordine. Essa è della forma:

$$H : -A_1, \dots, A_n. \quad (1.1)$$

La semantica è quella di una implicazione rovesciata: $H \Leftarrow A_1 \wedge \dots \wedge A_n$. Se $n = 0$ il simbolo $:-$ è omissso, ma non il punto finale. Un programma logico è un insieme di clausole. Una query è una sequenza di atomi A_1, \dots, A_n .

λ Prolog λ Prolog è, come già detto, un'estensione di Prolog. Le caratteristiche principali in aggiunta, rispetto a Prolog, sono il polimorfismo, la programmazione di ordine superiore e il lambda calcolo tipato.

1.1.2 Limiti di λ Prolog

Non essendo λ Prolog un linguaggio di programmazione con vincoli risulta impossibile implementare la type inference mediante esso. I limiti dell'utilizzo di tale linguaggio si riscontrano in particolare nel tentativo di codificare il tipaggio per i costrutti del let-in e della type class.

L'unica strategia percorribile sarebbe quella di codificare interamente il sistema punto per punto. In tal caso però si creerebbe un sistema estremamente rigido, il che rende tale strategia impraticabile. Ad esempio, infatti, si potrebbe codificare tutto nelle stringhe e svolgere ogni operazione attraverso di esse; a quel punto ogni cosa sarebbe implementabile, il sistema in questione sarebbe infatti Turing completo. Il problema però è il fatto che in tal caso si dovrebbero abbandonare tutte le features del linguaggio λ Prolog; infatti la rigidità del sistema creato non consentirebbe l'utilizzo delle stesse, poiché si risulterebbe vincolati alla nuova struttura.

Si è reso dunque necessario l'utilizzo di ELPI, la cui maggiore espressività (non nel senso della Turing completezza) permette di svolgere operazioni impossibili da codificare in λ Prolog. Prendiamo come esempio i due casi indicati precedentemente:

- Per codificare il tipaggio del let-in è necessario l'utilizzo del meccanismo mode di ELPI. Infatti esso offre un maggior controllo sugli elementi del codice poiché permette di accorgersi se essi sono delle variabili non istanziate, così da poterle gestire in modo appropriato.
- Per codificare il tipaggio della type class è necessario l'utilizzo dei vincoli. Infatti questi possono sussistere anche non totalmente istanziati e quindi permettono, ad esempio, di fissare l'obbligo di appartenenza di una variabile di tipo non istanziata ad un'istanza di type class.

Entrambi i requisiti sono caratteristiche presenti in ELPI ma non in λ Prolog. Risulta dunque evidente la necessità di utilizzare ELPI come linguaggio di programmazione per poter raggiungere lo scopo prefissato.

1.2 ELPI

1.2.1 Introduzione al linguaggio

ELPI, così come λ Prolog, è un linguaggio logico di ordine superiore (HOLP language - Higher Order Logic Programming language). La loro

differenza consiste nel fatto che ELPI possiede in aggiunta il sistema dei vincoli: infatti esso è un Higher Order constraint Logic Programming language. Spieghiamo alcuni concetti:

HOLP La programmazione di ordine superiore è uno stile di programmazione che usa elementi del linguaggio (e.g. funzioni, oggetti, ...) come valori. Ad esempio le funzioni possono essere passate come argomenti di altre funzioni oppure possono essere il valore di ritorno di altre funzioni. È solitamente istanziato con il modello di computazione del lambda calcolo, il quale utilizza funzioni di ordine superiore.

CLP La programmazione logica con vincoli (Constraint Logic Programming), estensione della programmazione logica, è un paradigma di programmazione dove le relazioni fra variabili possono essere dichiarate in forma di vincoli. Un vincolo è una formula della logica del prim'ordine (solitamente una congiunzione di formule atomiche) che usa solo predicati di significato predefinito.

1.2.2 Sistema di propagazione dei vincoli

Spieghiamo ora il sistema dei vincoli, nel caso specifico di ELPI. Generalmente l'approccio con ELPI è il seguente:

1. Si dichiara il **mode**;
2. Lo si trasforma in un vincolo;
3. Se si ha dei teoremi li si aggiunge, essi sono utili per evitare un accumulo non necessario di vincoli.

Primo punto Si raggiunge definendo il **mode** di un costrutto. Saranno presenti un numero di **i** e di **o** pari, rispettivamente, alla quantità di elementi in input e in output al costrutto.

Struttura:

`mode (costrutto i o).`

Secondo punto Si risolve dichiarando che un predicato contenente un costrutto, il quale presenta in input una o più variabili non istanziate, può essere soddisfatto aggiungendo al programma un vincolo contenente tale costrutto al cui interno saranno presenti le variabili non istanziate; viene inoltre fissata una lista delle variabili non istanziate la quale, una volta soddisfatta (cioè una volta istanziate le variabili in essa contenute), dà il via alla processazione del vincolo. Infatti un vincolo viene ricordato senza essere processato: sarà processato soltanto nel momento in cui le variabili ad esso associate saranno istanziate.

Struttura:

```
costrutto (uvar _ as variabile non istanziata) :-  
!, declare_constraint (vincolo) [variabili non istanziate].
```

Terzo punto Si ottiene definendo uno o più blocchi **constraint**. Al suo interno saranno presenti una o più **rule**, regole di riscrittura dei vincoli. Esse sono della forma:

```
rule tengo \ tolgo <=> condizione | aggiungo.
```

Oppure possono trovarsi in una delle forme ristrette:

```
rule \ tolgo <=> condizione | aggiungo.  
rule tengo \ tolgo <=> aggiungo.  
rule \ tolgo <=> aggiungo.
```

Struttura:

```
constraint costrutto {regole}
```

Il sistema di propagazione dei vincoli consiste nella riscrittura di insiemi di vincoli in altri insiemi di vincoli.

Esempi

Per comprendere meglio il concetto presento ora due frammenti di codice, estrapolati dal mio lavoro.

- Implementazione di `of`, il costrutto utilizzato per codificare il tipaggio di un termine.

```
type of term -> tipo -> prop.
mode (of i o).
of (uvar _ as X) T :-
    !, declare_constraint (of X T) [X].
```

- Implementazione di `eqp_tipo`, il costrutto utilizzato per la codifica dell'uguaglianza di due tipi.

```
type eqp_tipo tipo -> tipo -> prop.
constraint eqp_tipo {
    rule \ (eqp_tipo A A) <=> true.
    rule \ (eqp_tipo A B) <=> false.
}
```

1.3 Haskell

Il mio lavoro comprende l'implementazione di una parte di Haskell, non di tutto il linguaggio. Presento ora gli argomenti da me trattati.

1.3.1 BNF

$$T ::= t \mid T \rightarrow T$$

$$E ::= e \mid E E \mid \lambda e. E \mid \text{case } E \text{ of } a_1 \dots a_n \mid \text{let } d_1 \dots d_n \text{ in } E \mid \text{if } E \text{ then } E \text{ else } E$$

Indichiamo con T i tipi e con E i termini (o espressioni).

1.3.2 Case

Il case è un costrutto che prende in input un termine e restituisce un determinato termine di output in base al genere di termine ricevuto. Esso è costituito da una serie di alternative $(a_1 \dots a_n)$, che sono coppie che associano ad un genere di termini di input un termine di output.

Per capire il genere dell'input viene utilizzata la tecnica del pattern matching sul termine stesso confrontandolo con gli input delle alternative del case.

1.3.3 Let-in

Il costrutto del let-in è costituito da:

- Una lista di dichiarazioni $(d_1 \dots d_n)$ che associano, ciascuna, un nome ad un termine;
- Un corpo che è un'espressione all'interno della quale vengono utilizzati i termini definiti nelle dichiarazioni.

1.3.4 Type class

Un altro elemento da cui Haskell è costituito è il meccanismo delle type class. Una type class è un costrutto di un sistema di tipi che supporta il polimorfismo parametrico. Esso è ottenuto aggiungendo vincoli alle variabili di tipo. Questi tipicamente coinvolgono una type class e una variabile di tipo e indicano che la variabile può essere istanziata solamente con un tipo che soddisfa le operazioni associate alla type class. Una type class può quindi essere considerata come una sorta di insieme vincolato di tipi.

Paragonando questo sistema con il paradigma di programmazione orientato

agli oggetti potremmo dire che, rispettivamente, le `type class` stanno ai tipi come le classi stanno agli oggetti. Il meccanismo delle `type class`, infatti, nasce come risposta ad alcuni problemi dovuti all'utilizzo del meccanismo dell'ereditarietà nella programmazione orientata agli oggetti.

Capitolo 2

Implementazione

Presento di seguito il mio lavoro, con alcuni estratti del codice. Esso consiste nella codifica della sintassi di Haskell e nella implementazione della type inference con le type class di Haskell.

2.1 STLC

Con Simply Typed Lambda Calculus si fa riferimento, per l'appunto, al lambda calcolo tipato semplice. Esso è una forma di teoria dei tipi; è un'interpretazione tipata del lambda calcolo con un solo tipo costruttore (\rightarrow) il quale costruisce i tipi delle funzioni. I termini del lambda calcolo possono essere: un nome di variabile, l'applicazione di un termine come argomento di un altro termine oppure l'astrazione di un termine rispetto ad una variabile. Diamo la sua sintassi mediante la seguente grammatica:

$$T ::= t \mid T \rightarrow T$$

$$E ::= e \mid E E \mid \lambda e.E$$

Indichiamo con T i tipi e con E i termini (o espressioni).

2.1.1 Implementazione

`kind tipo type.`

```

type arr tipo -> tipo -> tipo.

kind term type.
type app term -> term -> term.
type lam (term -> term) -> term.

type of term -> tipo -> prop.
mode (of i o).
of (uvar _ as X) T :- !, declare_constraint (of X T) [X].
of (app X Y) B :- of X (arr A B), of Y A.
of (lam F) (arr A B) :- pi x \ of x A => of (F x) B.

```

Per comprendere l'ultima linea di codice è necessaria una spiegazione aggiuntiva rispetto a quanto detto fino ad ora.

Essa permette di tipare la lambda astrazione. Per ottenere questo risultato è stato necessario l'utilizzo di due costrutti particolari del linguaggio: il **pi** e l'implicazione (\Rightarrow).

Quantificazione universale Il costrutto **pi** corrisponde al quantificatore universale (\forall). Esso restituisce una costante, in questo caso la **x**, quantificata universalmente da utilizzare all'interno dell'espressione.

Struttura:

pi costante \ espressione .

Implicazione Il costrutto \Rightarrow corrisponde all'implicazione (\Rightarrow). Esso, assumendo l'ipotesi, tenta di soddisfare la tesi.

Struttura:

ipotesi => tesi .

2.2 Case e funzioni ricorsive

Implementare il costrutto case ha richiesto l'introduzione di una codifica per gli algebraic data types, una sorta di tipi composti formati dalla combinazione di altri tipi. Essi infatti permettono di classificare il termine in input ricollegandolo ad una classe di appartenenza (e.g. numeri naturali, liste, alberi, ...).

Per la consultazione dell'implementazione del costrutto case si rimanda all'appendice A.

Nell'implementazione del linguaggio sono comprese anche le funzioni ricorsive. Dopo aver dichiarato una funzione, infatti, essa può essere richiamata anche all'interno del corpo della medesima.

2.3 Type class e schema

Per definire il tipaggio nel meccanismo delle type class è stato inserito all'interno dell'implementazione il concetto di schema. In particolare esso viene utilizzato nelle dichiarazioni di funzione, per definire il tipo della stessa. Lo schema, infatti, è un tipo con, al suo interno, delle variabili quantificate universalmente (\forall , in codice `for_all`). Esso è costituito da due parti: la lista delle variabili e il tipo.

Mostriamone la sintassi con un esempio.

Per il tipo

$$\forall x, y : x \rightarrow y \quad (2.1)$$

la struttura del costrutto è la seguente

```
for_all x \ for_all y \ base (arr x y)
```

2.3.1 Implementazione

```
kind schema type.
```

```

type for_all (tipo -> schema) -> schema.
type base tipo -> schema.

kind nome_fun type.
kind declaration type.
type fun_decl nome_fun -> schema -> declaration.
kind implementation type.
type fun_impl nome_fun -> term -> implementation.

type fun nome_fun -> term.
of (fun N) T :-
  typeclass N1 T1 L,
  is_fun_in_decls L N S,
  instantiate S T,
  istanza N1 T1 _.

kind nome_classe type.
type typeclass
  nome_classe -> tipo -> list declaration -> prop.
type istanza
  nome_classe -> tipo -> list implementation -> prop.
mode (istanza i i o).
istanza N (uvar _ as X) L :-
  !, declare_constraint (istanza N X L) [X].

type is_fun_in_decls
  list declaration -> nome_fun -> schema -> prop.

kind holds type.
type is_instance nome_classe -> tipo -> holds.
type implies holds -> schema -> schema.

```

```
type instantiate schema -> tipo -> prop.
instantiate (base T) T.
instantiate (for_all S) 0 :- instantiate (S T_) 0.
instantiate (implies (is_instance N T) S) 0 :-
  istanza N T _, instantiate S 0.
```

Per comprendere la sintassi di un tipo che deve sottostare ad una type class presentiamo un esempio.

Per il tipo (2.1), con x che debba soddisfare un'ipotetica type class *comparable* e y una type class *printable*, la struttura del costrutto è la seguente:

```
for_all x \ for_all y \
  (implies (is_instance comparable x)
    (implies (is_instance printable y)
      (base (arr x y))
```

La proposizione `of (fun N) T` tipa una generica funzione contenuta in una type class. Tale risultato è ottenuto attraverso la collaborazione di più predicati:

1. Il predicato `typeclass` cerca nel programma una definizione di type class.
2. Il predicato `is_fun_in_decls`, presi in input il nome della funzione e la lista delle dichiarazioni di funzione della type class, controlla che sia presente nella lista una funzione con tale nome (i.e. che la type class contenga al suo interno quella specifica funzione) e restituisce lo schema ad essa associato. La sua implementazione è omessa in questa trattazione.
3. Il predicato `instantiate` istanzia lo schema ad essa associato in un tipo che sarà, per l'appunto, il tipo della funzione all'interno della proposizione.

4. Il predicato `istanza` aggiunge un vincolo di appartenenza di tipo all'istanza della type class.

2.4 Let-in

2.4.1 Implementazione

Capitolo 3

Conclusioni

3.1 Riassumendo

3.2 Finalità

3.3 La mia esperienza con ELPI

3.4 Il mio lavoro

3.5 Sviluppi futuri

3.5.1 Parser

3.5.2 Testing

3.5.3 Estensioni

Appendice A

Implementazione del costrutto case

```
kind nome_costruttore_adt type.
type constructor nome_costruttore_adt -> list term -> term.

type case_of term -> list pair -> term.
kind pair type.
type dato (term -> pair) -> pair.
type branch term -> term -> pair.

of (case_of X L) T1 :- of X T2, check_list_case L T1 T2.

type check_list_case list pair -> tipo -> tipo -> prop.
check_list_case [] _ -.
check_list_case [branch A B | TL] T1 T2 :-
  of A T2, of B T1, check_list_case TL T1 T2.
check_list_case [dato F | TL] T1 T2 :-
  pi x \ of x TX_ => check_list_case [(F x) | TL] T1 T2.
```


Appendice B

Implementazione del costrutto let-in

Ringraziamenti