PROGRAMMAZIONE 2
16.

Interpreti, compilatori e semantica operazionale

Linguaggi di programmazione

- Come si comprendono le caratteristiche di un linguaggio di programmazione?
- Molte risposte diverse…
  - manuali, documentazione on-line, esempi, consultazione `stackoverflow`.com, …
- La nostra risposta
  - la comprensione di un linguaggio di programmazione si ottiene dalla semantica del linguaggio
- Semantica come guida alla progettazione, all'implementazione e all'uso di un linguaggio di programmazione

Sintassi e semantica

- Un linguaggio di programmazione possiede
  - una sintassi, che definisce
    - le "formule ben formate" del linguaggio, cioè i programmi sintatticamente corretti, tipicamente generati da una grammatica
  - una semantica, che fornisce
    - un'interpretazione dei "token" in termini di entità (matematiche) note
    - un significato ai programmi sintatticamente corretti
- La teoria dei linguaggi formali fornisce formalismi di specifica (grammatiche) e tecniche di analisi (automi) per trattare aspetti sintattici
- Per la semantica esistono diversi approcci
  - denotazionale, operazionale, assiomatica, …
- La semantica formale viene di solito definita su una rappresentazione dei programmi in sintassi astratta

Sintassi concreta

- La sintassi concreta di un linguaggio di programmazione è definita di solito da una grammatica libera da contesto (come visto a PR1 ???)
- Esempio: grammatica di semplici espressioni logiche (in Backus-Naur Form, BNF)
  - `e ::= v | Not e | (e And e)| (e Or e) | (e Implies e)`
  - `v ::= True | False`
- Notazione comoda per programmatori (operatori infissi, associatività-commutatività di operatori, precedenze)
- Meno comoda per una gestione computazionale (si pensi a problemi di ambiguità)

Sintassi astratta

- L' albero sintattico (abstract syntax tree) di un'espressione exp mostra (risolvendo le ambiguità) come exp può essere generata dalla grammatica
- La sintassi astratta è una rappresentazione lineare dell'albero sintattico
  - gli operatori sono nodi dell'albero e gli operandi sono rappresentati dai sottoalberi
- Per gli AST abbiamo quindi sia una notazione lineare che una rappresentazione grafica

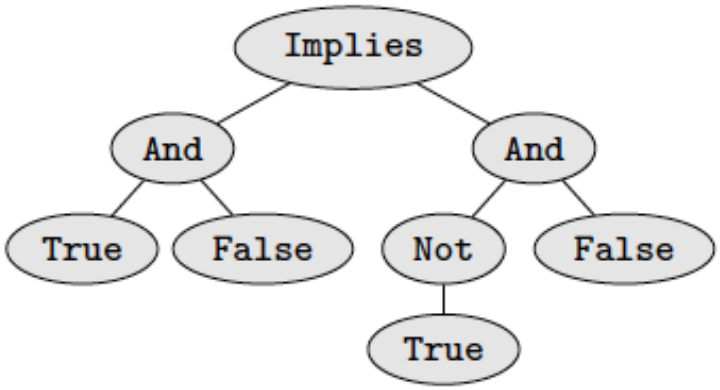
Dalla sintassi concreta all'AST

SINTASSI CONCRETA

```
(True And False)
Implies
((Not True) And False)
```

```
Implies(And(True,False),
And(Not(True),False) )
```

SINTASSI ASTRATTA



ALBERO SINTATTICO

Semantica dei linguaggi

- Tre metodi principali di analisi semantica
  - Semantica operazionale: descrive il significato di un programma in termini dell'evoluzione (cambiamenti di stato) di una macchina astratta
  - Semantica denotazionale: il significato di un programma è una funzione matematica definita su opportuni domini
  - Sematica assiomatica: descrive il significato di un programma in base alle proprietà che sono soddisfatte prima e dopo la sua esecuzione (p.e. Triple di Hoare)
- Ogni metodo ha vantaggi e svantaggi rispetto ad aspetti matematici, facilità di uso nelle dimostrazioni, o utilità nel definire un interprete o un compilatore per il linguaggio

E di questo cosa si vede in PR2?

- Metodologie per OOP
  - qualcosa di semantica assiomatica, informalmente
  - clausole Requires & Effect
  - Representation Invariant
- Comprensione dei paradigmi dei linguaggi di programmazione
  - useremo una semantica operazionale

Semantica operazionale

- Idea: la semantica operazionale di un linguaggio L definisce in modo formale, con strumenti matematici, una macchina astratta M_L in grado di eseguire i programmi scritti in L
- Definizione: un sistema di transizioni è costituito da
  - un insieme Config di configurazioni (stati)
  - una relazione di transizione $\longrightarrow \subseteq \text{Config} \times \text{Config}$
- Notazione: $c \longrightarrow d$ significa che c e d sono nella relazione $\longrightarrow$
- Intuizione: $c \longrightarrow d$ lo stato c evolve nello stato d

Semantica operazionale “big step”

- Nella semantica operazionale “big step” la relazione di transizione descrive la valutazione completa di un programma/espressione
- Scriviamo e => v se l’esecuzione del programma /espressione e produce il valore v
- Notazione alternativa (equivalente) utilizzata in molti testi: e $\Downarrow$ v
- Come vedremo, una valutazione completa di un’espressione è ottenuta componendo le valutazioni complete delle sue sotto-espressioni

Regole di derivazione

- Le regole di valutazione costituiscono un proof system (sistema di dimostrazione)

$$\frac{premessa_1 \quad \ldots \quad premessa_k}{conclusione}$$

- Tipicamente le regole sono definite per induzione strutturale sulla sintassi del linguaggio (come in LPP)
- Le “formule” che ci interessa dimostrare sono transizioni del tipo e => v
- Componiamo le regole in base alla struttura sintattica di e ottenendo un proof tree

SOS: espressioni logiche

$$true \Rightarrow true \qquad false \Rightarrow false$$

VALORI

$$\frac{e \Rightarrow v}{not\ e \Rightarrow \neg v}(not)$$

$$\frac{e1 \Rightarrow v1 \quad e2 \Rightarrow v2}{e1\ \text{and}\ e2 \Rightarrow v1 \wedge v2}(and)$$

Regole di valutazione analoghe per OR e IMPLIES
Usiamo OPERATORI LOGICI sul
dominio dei valori con tabelle di verità

Regole e derivazioni

- Le regole di valutazione possono essere composte per ottenere la valutazione di una espressione più complessa
- Questo fornisce una prova di una derivazione operazionale di calcolo

$$\dfrac{\dfrac{}{\texttt{True} \Rightarrow \texttt{True}} \quad \dfrac{\dfrac{}{\texttt{False} \Rightarrow \texttt{False}} \quad \dfrac{}{\texttt{True} \Rightarrow \texttt{True}}}{\texttt{False And True} \Rightarrow \texttt{False}}}{\texttt{True And (False And True)} \Rightarrow \texttt{False}}$$

Regole e interprete

- Le regole di valutazione definiscono l'interprete della macchina astratta "formale" definita dalla semantica operazionale
- Quindi le regole descrivono il processo di calcolo
- Nel corso forniremo una codifica OCaml della semantica operazionale
- Di conseguenza otterremo un modello eseguibile dell'interprete del linguaggio
- La sintassi astratta si descrive in modo naturale tramite i tipi algebrici
- Consideremo un linguaggio didattico funzionale minimale (costrutti di base)
- Per questa parte sono disponibili delle note sulla pagina web

Linguaggio didattico e interprete

- Espressioni booleane e a valori interi.
- Dichiarazioni di variabili
- Dichiarazone di funzione e chiamata (anche ricorsive)
- Due versioni dell'interprete che differiscono per l'ambiente
- In entrambi i casi il nostro obiettivo sarà quello di calcolare il valore di espressioni chiuse
- La metodologia proposta presenta le basi per realizzare interpreti dalla semantica anche nel paradigma imperativo o per altri linguaggi piu' complessi