Verifica funzionale di programmi con Dafny

Lorenzo Quellerba

Univeristà degli Studi di Torino

June 2023

Dafny

- Dafny è un linguaggio di programmazione *object oriented* che supporta sia il paradigma imperativo che quello funzionale
- Supporta la specifica formale attraverso precondizioni, postcondizioni, invarianti, varianti e i *dynamic frames* per la formalizzazione delle modifiche della memoria
- La correttezza del codice viene verificata rispetto alla specifica data da un SMT solver (*correct by construction*)
- Al termine del processo di verifica un programma Dafny può essere compilato in altri linguaggi tra cui C++, Go, Java

Dafny: funzionamento

Tripla di Hoare

$$\{P\}C\{Q\}$$

Se l'asserzione P è vera prima dell'esecuzione del comando C allora l'asserzione Q sarà vera al termine dell'esecuzione

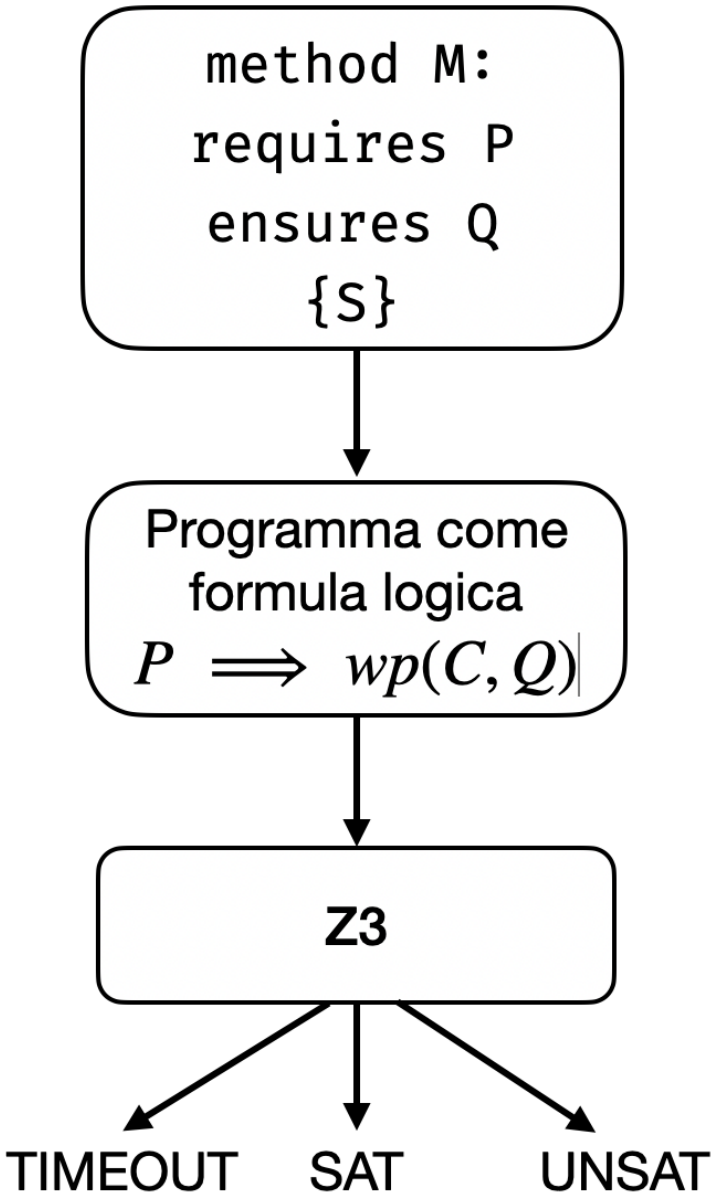
Predicate transformer semantics

La semantica dei *predicate transformer* è una riformulazione della logica di *Floyd-Hoare* che definisce una strategia completa per la costruzione di deduzioni valide

Weakest precondition

Dato un comando C e una postcondizione Q la *weakest precondition* (*wp*) è un predicato ϕ tale per cui per ogni precondizione P, $\{P\}C\{Q\}$ se e solo se $P \implies \phi$

Dafny: funzionamento



Caratteristiche del linguaggio

- Reference types e value types
- Generici
- predicati metodi funzioni classi
-

Albero binario di ricerca

Richiamo di teoria della struttura

BST: variabili d'istanza

```
class TreeNode
{
  var data: int
  var left: TreeNode?
  var right: TreeNode?

  ghost var Repr: set<object>
  ghost var Contents: set<int>
```

BST: invariante di struttura

```
ghost predicate Valid()
  reads this, Repr
{
  this in Repr &&
  (left != null ==>
     left in Repr &&
     left.Repr <= Repr && this !in left.Repr &&
     (forall e :: e in left.Contents ==> e < data) &
     left.Valid()) &&
  (right != null ==>
     right in Repr &&
     right.Repr <= Repr && this !in right.Repr &&
     (forall e :: e in right.Contents ==> data < e)
     right.Valid())
  && (left != null && right != null ==> left.Repr !
  && Contents == (if left == null then {} else left
                  (if right == null then {} else rig
```

BST: costruttore

```
constructor (x: int)
    ensures fresh(Repr - {this})
    ensures Valid()
    ensures Contents == {x}
  {
    data := x;
    left := null;
    right := null;

    Repr := { this };
    Contents := { data };
  }
```

BST: inserimento

```
method Insert(x: int)
  requires Valid()
  modifies Repr
  ensures Valid() && fresh(Repr - old(Repr)) && Con
  decreases Repr
{
  if x == data { return; }
  if x < data {
    if left == null {
      left := new TreeNode(x);
    } else {
      left.Insert(x);
    }
    Repr := Repr + left.Repr;
  } else {
    if right == null {
      right := new TreeNode(x);
```

BST: ricerca

```
method Find(x: int) returns (present: bool)
  requires Valid()
  ensures present <==> x in Contents
  decreases Repr
  ensures Valid()
{
  if x == data
  {
    present := true;
  }
  else if left != null && x < data
  {
    present := left.Find(x);
  }
  else if right != null && data < x
  {
    present := right.Find(x);
```

BST: cancellazione

```
method Remove(x: int) returns (node: TreeNode?)
  requires Valid()
  modifies Repr
  ensures fresh(Repr - old(Repr))
  ensures node != null ==> node.Valid()
  ensures node == null ==> old(Contents) <= {x}
  ensures node != null ==> node.Repr <= Repr && nod
  decreases Repr
{
  node := this;
  if left != null && x < data {
    var t := left.Remove(x);
    left := t;
    Contents := Contents - {x};
    if left != null { Repr := Repr + left.Repr; }
  } else if right != null && data < x {
    var t := right.Remove(x);
```

BST: cancellazione

```
method RemoveMin() returns (min: int, node: TreeNod
  requires Valid()
  modifies Repr
  ensures fresh(Repr - old(Repr))
  ensures node != null ==> node.Valid()
  ensures node == null ==> old(Contents) == {min}
  ensures node != null ==> node.Repr <= Repr && nod
  ensures min in old(Contents) && (forall x :: x in
  decreases Repr
{
  if left == null {
    min := data;
    node := right;
  } else {
    var t;
    min, t := left.RemoveMin();
    left := t;
```