Design By Contract e JML

Angelo Gargantini

Informatica III 2007/2008

Design by contract

Segue questa idea, soprattutto valida per l'OO:

- l'interfaccia di un modulo definisce un contratto

Cosa è un contratto?

Un accordo tra cliente e fornitore che:

- lega le due (o più) parti: fornitore e cliente
- è esplicito (scritto)
- specifica gli obblighi e i benefici delle due parti
- normalmente mappa gli obblighi di una parte come benefici dell'altra parte
- non contiene clausole nascoste: gli obblighi sono quelli dichiarati

Bibliografia

Meyer, Bertrand

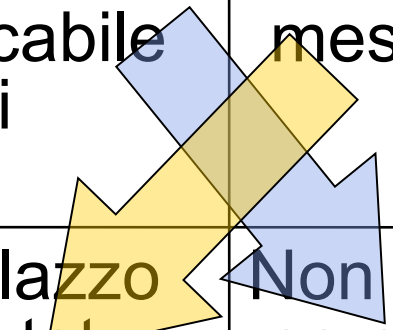
- Object-Oriented Software Construction, Prentice Hall, 1988
- http://archive.eiffel.com/doc/manuals/technology/contract/page.html

Inventò il linguaggio di programmazione EIFFEL

- la torre Eiffel come esempio:
  - costruita rispettando tempi e budget
  - a partire da “componenti”
  - costruita come cosa temporanea, invece c’è tutt’oggi

Esempio: contratto di costruzione

	Obblighi	Vantaggi
Cliente	Mettere a disposizione 1 ettaro di terreno edificabile e un tot di soldi	Ricevere un edificio di 3 piani entro tot mesi
Fornitore	Costruire un palazzo di 3 piani entro tot mesi	Non deve fare nulla se non riceve i soldi o se il terreno non è adatto



Contratti nel software

Oggetto del contratto: il software, in OO, un insieme di classi

Cliente: chi usa il programma

Fornitore: chi scrive il programma

Esempio: una libreria

Il contratto di ogni classe dovrebbe essere:

- esplicito
- parte dello stesso elemento software

Il linguaggio Eiffel è stato costruito proprio seguendo i principi del DbC:

- il linguaggio di programmazione contiene proprio il linguaggio per scrivere contratti

PRE e POST condizioni

In un contratto si può:

- **definire cosa ogni metodo richiede**
  - obbligo per il cliente
  - precondizioni
- **cosa fornisce il metodo**
  - obbligo per il fornitore
  - postcondizioni

Precondizioni e postcondizioni potrebbero essere espresse usando la logica, meglio per i programmatori usare la sintassi del linguaggio di programmazione o del tool

Esempio di un Array

Operazione `insert(element)` in un Array

- no_elements: numero di elementi memorizzati
- size: dimensione del vettore

Precondition

- l'array non è pieno:

```
no_elements < size
```

Postcondition

- l'elemento `element` è nell'array
- l'array contiene un elemento in più:

```
no_elements' = no_elements +1
```

  - no_elements' indica il valore dopo l'operazione

Perchè le precondizioni?

Un metodo deve gestire ogni possibile input?

- In generale **NO**
- Precondizioni **deboli** (TRUE significa nessuna precondizione); tutte le complicazioni sono gestite dalla routine
- Precondizioni **forti** (FALSE significa che non può essere chiamato)

La scelta di precondizioni è una scelta di progetto; non c'e' una regola assoluta: però è meglio scrivere metodi semplici che soddisfino un contratto ben definito che un metodo che "cerca" di gestire tutte le situazioni possibili.

Come garantire le precondizioni

Il cliente deve garantire la precondizioni prima di invocare il metodo. Come fare?

- Se pre è la precondizione per un metodo m di un oggetto x:
  - pre potrebbe consistere nel verificare un campo di x, o chiamare un metodo, es. `x.a >0 o x.c() == 1`,…
- il cliente dovrà controllare l'invocazione del metodo m di x in questo modo:

```
if ( pre ) x.m()
else {/* special treatment */}
```

- oppure essere sicuro che pre vale prima della chiamata di m, in base al ragionamento sul programma

Come garantire le postcondizioni

Il fornitore deve garantire le postocondizioni nell'implementazione del metodo

- il cliente potrà assumere che le post condizioni siano vere dopo l'invocazione del metodo

Cliente: controlla le precondizioni prima di invocare un metodo ma assume (non controlla) che le postcondizioni valgono dopo

Fornitore: assume (non controlla) che le precondizioni valgono e garantisce le postcondizioni

Si evita che il controllo venga fatto sia dal cliente che dal fornitore

Pre e Post condizioni: test

Considera di essere un laureato in Informatica e sul mercatino cerchi lavoro per fare il programma A (con {P} A {Q}, P precondizioni e Q postcondizioni). Sei un po' sfaticato.

- **Preferisci P forte o debole?**
- **Q forte o debole?**

  P forte e Q debole rendono A più facile da scrivere
- **Due offerte speciali:**
  - **{False} A {...}**
  - **{...} A {True}**

  Quale scegli?

  nel primo caso non devi scrivere A
  nel secondo caso puoi implementare A come vuoi

Proprietà interne di una classe

•Possiamo specificare nel contratto anche una proprietà che vale sempre per tutte le istanze

INVARIANTE

•L'invariante è vero dopo la creazione dell'oggetto e dopo ogni operazione

Esempio per l'Array:

il numero di elementi è sempre compreso tra 0 e la dimensione massima:

```
0 <= no_elements <= size
```

L'invariante definisce un obbligo ulteriore

- l'implemetazione di ogni metodo non deve violare l'invariante
- e una precondizione ulteriore: chi implementa il metodo sa che l'invariante vale

Contratti come documenti

I contratti possono essere inseriti anche prima di fornire una vera implementazione del metodo

Documentazione delle classi

- dalle definizioni dei contratti si può estrarre in modo automatico le precondizioni e le post condizioni e gli invarianti, che documentano cosa fa la classe

Ruolo delle eccezioni

Le eccezioni si sollevano solo quando il contratto è violato

- precondition (colpa del client)
- postcondition o invariant

Le eccezioni sono casi eccezionali e NON casi particolari

Per casi speciali usa le strutture di controllo (es. “if the sum is negative, report an error...”)

Una violazione dei un contratto è la manifestazione di un DIFETTO (“BUG”)

Vantaggi TECNICI nell'uso del DbC

Dal libro di Meyer:

- *Development process becomes more focused.*
- *Writing to spec.*
- *Sound basis for writing reusable software.*
- *Exception handling guided by precise definition of "normal" and "abnormal" cases.*
- *Interface documentation always up to date, can be trusted.*
- *Documentation generated automatically.*
- *Faults occur close to their cause. Found faster and more easily.*
- *Guide for black-box test case generation.*

Alcuni sistemi

Eiffel – linguaggio OO simile a Simula

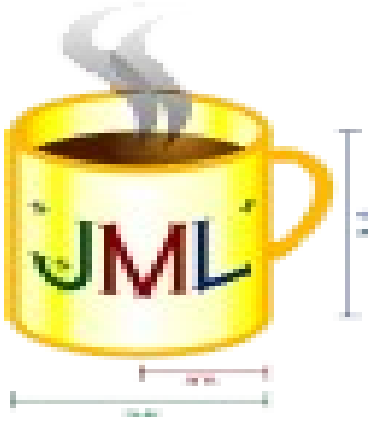
GNU Nana: per C e C++

iContract (Java)

(Java assertion in jdk 1.4)
http://java.sun.com/j2se/1.4/docs/guide/lang/assert.html

Jass: Java Assertions: http://semantik.informatik.uni-oldenburg.de/~jass/

JML: The Java Modeling Language (JML)



DbC per Software OO

Vedremo come specificare le pre, post condizioni e invarianti in programmi Java usando JML

JML è un insieme di tool e di tecniche per il design by contract in Java ed altro

http://www.cs.iastate.edu/~leavens/JML/

http:// www.jmlspecs.org

Sintassi simile per tutti i tool dbc e per tutti i linguaggi OO

Sintassi di JML in breve

Per rendere JML facile da usare le annotazioni JML vengono aggiunte come commenti nel file .java tra

/*@ . . . @*/ , o dopo //@

Le condizioni sono scritte come espressioni boolean di java con alcuni operatori in più:

\result, \forall, \old, ==>, ...

e alcune parole chiave

requires, ensures, invariant, ...

Il .java contiene il codice e il suo modello formale secondo DbC

Il .java è un valido file java

Esempio: conto in banca

Sia Account una classe che modella un conto in banca [onesta]– senza dbc:

```
public class Account{
      int balance;
      static final int minBalance = 1000
      /** crea un nuovo conto con una
          certa somma iniziale*/
      public Account (int initialAmount){…}
      /** preleva dei soldi */
      public int withdraw(int amount) {…}
      /** deposita un certo importo */
      public int deposit(int amount){…}
```

DBC per nuovo Account

Quando **creo** un account :

PRE - chiedo che `initialAmount` sia maggiore di `minBalance` per poter creare un conto:

- **uso `requires` per le precondizioni**

POST - assicuro che sul conto ci sarà l'intera somma inizialmente versata:

- **uso `ensures` per le postcondizioni**

```
/** crea un nuovo conto */
//@ requires initialAmount >= minBalance;
//@ ensures balance = initialAmount;
public Account (int initialAmount){…}
```

DBC per deposit

Quando **deposito**

PRE: chiedo che la somma depositata sia positiva

POST: assicuro che il bilancio verrà aumentato di quanto ho versato

- **uso old per riferirmi ad un valore prima dell'invocazione di un metodo**

```
//@ requires amount >= 0;
//@ ensures balance == \old(balance)+ amount;
public int deposit(int amount){…}
```

DBC per withdraw

Quando ritiro un somma amount

PRE: 0<= amount <= balance – minBalance

POST: il bilancio viene diminuito di amount e

il valore restituito dal metodo è uguale al nuovo ammontare sul conto:

- **uso \result per riferirmi al valore restituito**

```
/*@requires amount >= 0
        && amount <= balance - minBalance;
    ensures balance == \old(balance) - amount
        && \result == balance;@*/
public int withdraw(int amount) {
     balance -= amount; return balance;}
```

Contratto per withdraw

	OBBLIGHI	**BENEFICI**
Cliente	(*Soddisfare le precondizioni*:) Assicurarsi che la somma non è ne' troppo grande ne' troppo piccola.	(*dalle postcondizioni*) Avere il conto aggiornato con la somma ritirata
Fornitore	(*Soddisfare le postcondizioni)* Aggiornare il conto togliendo la somma ritirata	(*Dalle precondizioni*) Calcoli più semplici: può assumere che la somma sia corretta

Operazione vs dichiarazione

istruzione	postcondizione
`balance = balance - amount`	`ensures balance == \old(balance) - amount`
OPERAZIONE	DICHIARAZIONE
Come?	Cosa?
IMPLEMETAZIONE	SPECIFICA
Comando	Query
Istruzione	Espressione
Imperativo	Controllo

Invariante per Account

In ogni caso

INV: un conto non potrà avere un bilancio inferiore al minimo

- **uso invariant per specificare un invariante**

```
public class Account {
…
/*@ invariant balance >= minBalance; @*/
…
```

Uso del contratto

1. **Documentazione**
   - può essere controllata sintatticamente, esportata in formato javadoc, …
2. **Controllo run-time**
   - le condizioni possono essere attivate o disattivate run-time (rallentano l'esecuzione)
     - attivate durante lo sviluppo e durante il testing
     - disattivate sul codice distribuito
3. **Prova di correttezza del software**
   - dimostrare che il contratto è rispettato dall'implementazione

Cenni di Correttezza del Software

La correttezza è una nozione relativa: consistenza dell'implementazione rispetto la sua specifica.

- nel nostro caso il contratto è la specifica

Notazione base:

- A: istruzioni o programma
- P: precondizioni di A
- Q: postcondizioni di A
- correttezza : {P} A {Q} “Hoare triple”

ogni esecuzione di A che inizi in uno stato che soddisfa P termina in uno stato che soddisfi Q

Contratto di SQRT

Sia SQRT una routine per il calcolo della radice quadrata

La correttezza di questa routine richiede la scrittura del contratto:

- A: ... algoritmo per calcolare y come radice quadrata di x (con precisione epsilon)
- P: l'input è positivo

$$\{x >= 0\}$$

- Q: y approssima esattamente il quadrato di x con un errore pari a epsilon

$$\{abs\ (y\ ^\wedge\ 2 - x) <= 2 * epsilon * y\}$$

Esempio di correttezza

A: singola istruzione n := n + 9

P: n > 5

Q: n > 13

Correttezza: {n > 5} n := n + 9 {n > 14}

la dimostrazione di correttezza è complessa e difficilmente effettuabile con strumenti automatici

Correttezza di una Classe

Nel DBC una classe è corretta se sono corretti:

- operazione di creazione

per ogni nuova istanza INV vale

- $\{PRE_{costr}\}$ constructor $\{INV \wedge POST_{costr}\}$

- ogni altro metodo OP

se chiamo un metodo OP con PRE vero (e INV) allora dopo l'esecuzione del metodo vale POST e continua a valere INV

- $\{PRE_{op} \wedge INV\}$ OP $\{POST_{op} \wedge INV\}$

- Abbiamo visto:

In sintesi

  - JML è un insieme di tool per l'uso del dbc in Java
  - in JML il contratto si mette nel commento precedente un metodo utilizzando //@ o /*@ @*/;
  - le precondizioni sono espressioni java precedute da requires (es. : requires x>0;)
  - le postcondizioni sono precedute da ensures
    - \old si usa per riferirsi ad un valore prima dell'esecuzione del metodo
    - \result per riferirsi al valore restituito da un metodo
  - Cenni di prova di correttezza del software
- Nella prossima lezione vedremo:
  - altri elementi di sintassi di JML

Notazione base di JML

JML permette di aggiungere come commenti particolari ad un classe Java:

- precondizioni ai metodi

  //@ requires <espressione booleana>;

- postcondizioni ai metodi

  //@ ensures <espressione booleana>;

- invarianti di classe

  //@ invariant <espressione booleana>;

- espressione booleana è una espressione java che può essere vera o falsa
- può contenere \old, \result

Contratti incompleti

Nota che un metodo può avere un contratto "debole" non ancora definitivo

Ad esempio il metodo debit di account:

- richiede che l'ammontare sia positivo
- non garantisce nulla

```
/*@ requires amount >= 0; ensures true;@*/
public int debit(int amount){...}
```

Questa è la postcondizione è di default

Esempio con <==>

Nelle espressioni booleane di JML si può usare l'operatore <==> che vuol dire "se e solo se"

A <==> B è (A && B) || (!A && !B)

Ad esempio se ho un metodo `minore` che prende in ingresso j e n e restituisce true se e solo se j< n:

```
//@ ensures \result <==> j < n;
boolean minore(int j, int n) {return j < n;}
```

Quantificatori

Nelle espressioni di JML posso inserire anche quantificatori:

- universali \forall - per ogni elemento
- esistenziali \exists – esiste un elemento
- generali come \sum, \product, \min, \max
- numerici \num_of

La sintassi è

<quant.> <tipo> <var>; <range predicate>; <espressione>

Esempio

Tutti gli studenti contenuti nel Collection `juniors` hanno advisor (dato dal metodo `getAdvisor()`):

```
(\forall Student s; juniors.contains(s);
                    s.getAdvisor() != null)
```

Esempio quantificatori (1)

Scriviamo il contratto per un metodo che restituisce il minimo di un array

```
public static int  find_min (int a[])
```

PRE: l'array a non è null e ha almeno un elemento

```
requires a != null && a.length >= 1;
```

- se a è vuoto non saprei cosa restituire

POST: l'elemento restituito è effettivamente minore di tutti gli elementi dell'array:

```
ensures (\forall int i; 0 <= i &&
                i <  a.length; \result <= a[i]);
```

- questo non basta: find_min potrebbe restituire MIN_INT

Esempio quantificatori (2)

La post condizione completa è:

POST: l'elemento restituito è effettivamente minore di tutti gli elementi dell'array e appartiene all'array a

- **esiste un elemento in a che è uguale a result**

```
ensures
(\forall int i; 0 <= i && i <  a.length;
                                \result <= a[i])
&& (\exists int i; 0 <= i && i < a.length;
                              \result == a[i]);
```

non_null

Molti invarianti e pre e post condizioni richiedono che un certo riferimento non sia mai null.

L'operatore non_null sia usa per esprimere questi requisiti

Esempio

```
public class Directory {
private /*@ non_null @*/ File[] files;
void createSubdir
            (/*@ non_null @*/ String name){…}
Directory /*@ non_null @*/ getParent(){…}
```

assert (1)

Per richiedere che una certa condizione sia verificata ad un certo punto all'interno del codice si può usare assert

Esempio

```
if (i <= 0 || j < 0) { ...
} else if (j < 5){
              //@ assert i > 0 && 0 <= j && j < 5;
              ...
} else {
              //@ assert i > 0 && j > 5;
              ...
}
```

assert (2)

Nota che anche Java (da 1.4) ha la parola chiave assert (con uguale scopo)

in JML, assert è più espressivo.

Ad esempio se voglio richiedere che un vettore a non contenga null, in Java con assert:

```
for (n = 0; n < a.length; n++)
                        assert(a[n] != null);
```

In JML:

```
/*@ assert
(\forall int i; 0<=i && i<n ;a[i] != null);@*/
```

in Java però viene riconosciuto e controllato dal compilatore e per attivare il controllo run-time basta usare l'opzione –ea nel comando java

Benefici di JML

- **Le specifiche JML forniscono una documentazione esplicita del contratto**
- **Scrivendo le specifiche in JML rendi chiaro le assunzioni fatte a livello di progetto che andranno considerate quando si scrivono le implementazioni**
- **Rendono più facile la comprensione del codice e la sua manutenzione**
- **Possono essere analizzate da tool automatici**

Tools per JML

JML compiler (jmlc): compila i file java per avere .class instrumentati

JML/Java interpreter (jmlrac):

- esegue il controllo di tutte le asserzioni di JML: se una condizione non è verificata solleva una eccezione particolare

Controllo statico del codice per la prova di correttezza con escjava2

JML/JUnit unit test tool (jmlunit)

HTML generator (jmldoc)

Altri tool ....

In sintesi

- Abbiamo visto che in JML si può usare:
  - <==> per dire se e solo se;
  - \forall \esist come quantificatori
  - non_null per richiedere che un riferimento non sia mai null
  - assert per generiche condizioni
- Ricordate che in JML si usano:
  - jmlc: per compilare i file java contenenti i contratti di JML
  - jmlrac: per eseguire i file class con i controlli attivati
  - jmldoc: per generare la documentazione