



Programozási nyelvek és módszerek

12. ELŐADÁS – PROGRAMOK HELYESSÉGE

Programok helyessége

Feladat

- Algoritmust adok a megoldására
- Megoldja?
 - Teszteljük
 - Fekete doboz
 - Fehér doboz
 - Nem biztos a megoldás

Formális matematikai megközelítés szükséges!

Sir Charles Antony Richard Hoare

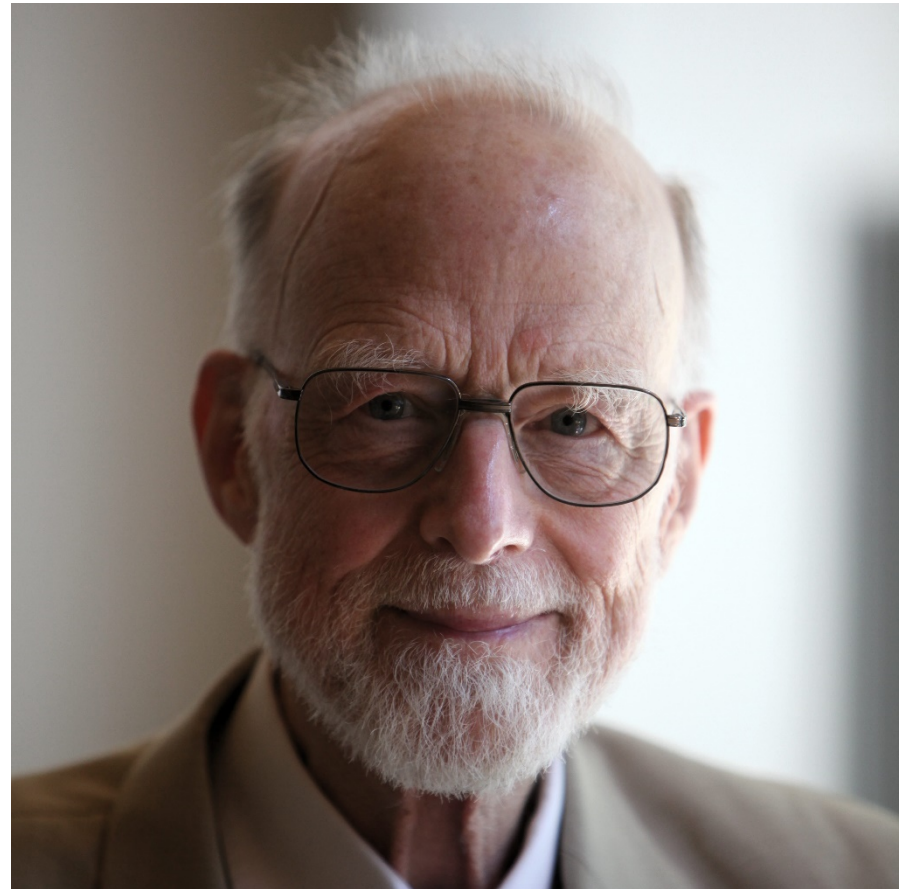
Brit tudós

Fontosabb eredmények

- Quicksort algoritmus
- „Hoare logic”
- A programhelyesség igazolására
- Strukturált programozás
- Párhuzamos programozás
- Null referencia
 - Ezért 2009-ben bocsánatot is kért

Hol

- Oxford
- Microsoft Research Lab.
(Cambridge)



Feladat specifikációja

Szerződés a felhasználó és az implementáló között

- **előfeltétel**: egy állítás, ami leírja azt a feltételt, ami szükséges a feladat helyes működéséhez
- **utófeltétel**: egy állítás, ami leírja azt a feltételt, amit a függvény teljesít a helyes végrehajtás után

Helyesség a specifikáció figyelembevételével:

- ha a függvény felhasználója teljesíti az előfeltételt, a függvény elkezd futni, s amikor befejezi, akkor az utófeltétel igaz lesz.

(Mit kell az implementációnak teljesíteni, ha a felhasználó megsérti az előfeltételt?)

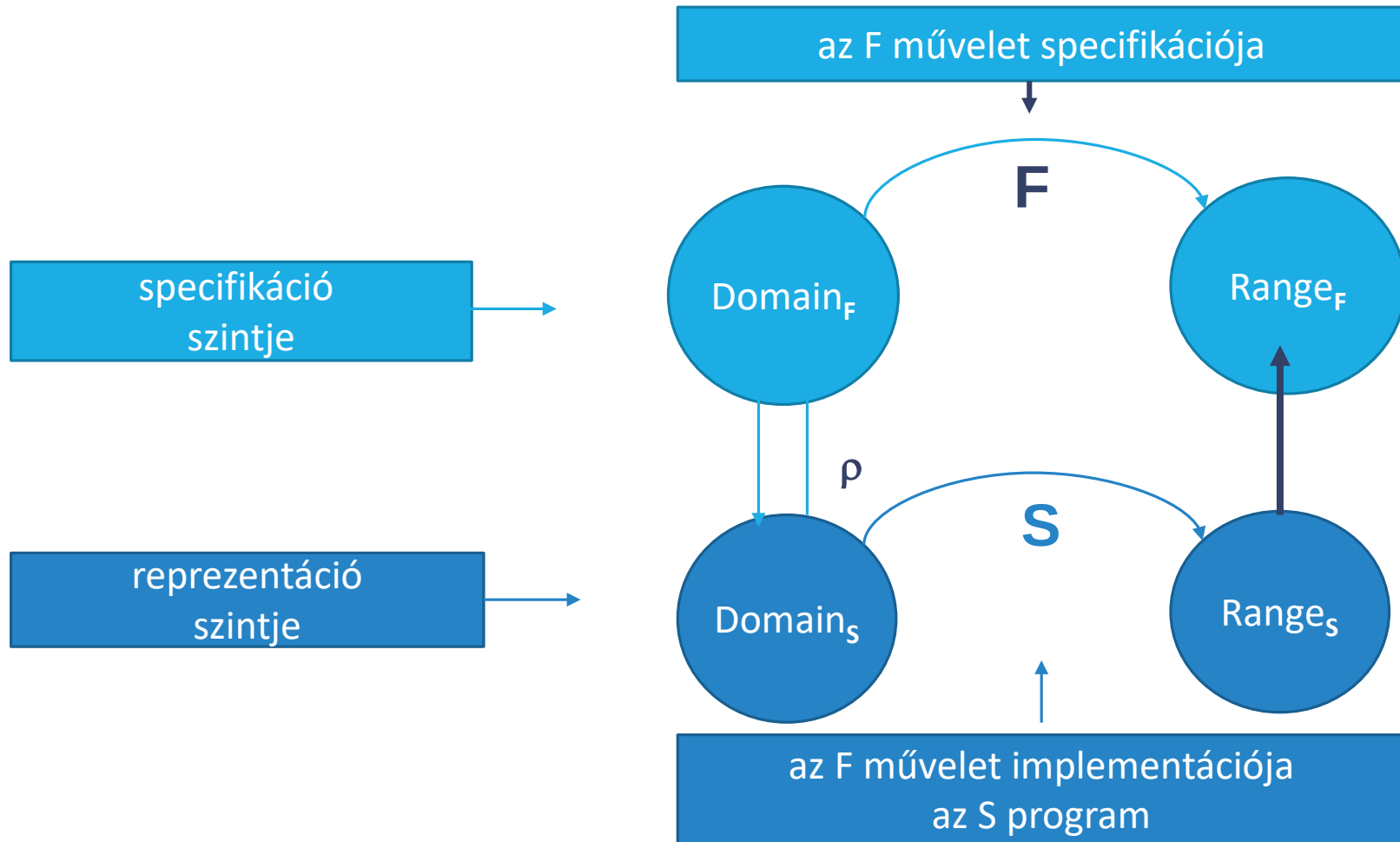
A strukturált és az objektumorientált programozási nyelvek központi fogalmává vált az absztrakció és az absztrakt adattípus.

- Ez a megközelítés azt jelenti, hogy a típust a típusspecifikációval, a típusimplementációval és a közöttük levő kapcsolatot megadó reprezentációs függvénnel definiáljuk.
- A helyességbizonyításhoz tehát olyan specifikációs módszerekre van szükségünk, amelyekkel a típusspecifikációt és a típusimplementációt adhatjuk meg.
 - Ezt nevezzük kettős specifikációnak.
 - Ebben az esetben a helyességbizonyítás során azt kell ellenőrizni, hogy az implementáció megfelel-e a specifikációnak.

A Hoare-féle specifikációban:

- A típusműveletekhez elő- és utófeltételeket rendelünk.
- A típusértékthalmazok leírása invariánsokat is tartalmazhat

A típus specifikáció és a típus kapcsolata



Az elő- és utófeltételes specifikációt alkalmazza számos programozási nyelv

- Közvetlenül pl.
 - az Alphard,
 - az Eiffel,
 - a D,
 - az Oxygene (korábban Chrome) (Object Pascal alapú)
 - a Cobra
 - ...
- Közvetve (valamilyen eszköz segítségével)
 - C#, VB a Code Contracts használatával (ez egy Microsoft Research project, a .Net Framework -be integrálva),
 - Java számos eszközzel, pl. iContract2, Contract4J, jContractor, Jcontract, Java Modeling Language (JML),
 - ...

Hoare - módszer

A feladat:

- adjuk össze egy valós elemeket tartalmazó vektor elemeit!

Kiinduló adatok:

- egy n hosszú, valós elemeket tartalmazó v vektor

Eredmény:

- s valós érték, ami tartalmazza a vektor elemeinek összegét!

Írjunk rá megoldó algoritmust!

Hoare - módszer

```
float sum(float *v, int n) {  
    float s = 0.0;  
    int i = 0;  
    while (i < n) {  
        s = s + v[i];  
        i = i + 1;  
    }  
    return s;  
}
```

Hogyan indokoljuk, hogy ez a program helyes (megoldja a feladatot)?

Feladat specifikációja

Szerződés a felhasználó és az implementáló között

- **előfeltétel**: egy állítás, ami leírja azt a feltételt, ami szükséges a feladat helyes működéséhez
- **utófeltétel**: egy állítás, ami leírja azt a feltételt, amit a függvény teljesít a helyes végrehajtás után

Helyesség a specifikáció figyelembevételével:

- ha a függvény felhasználója teljesíti az előfeltételt, a függvény elkezd futni, s amikor befejezi, akkor az utófeltétel igaz lesz.

(Mit kell az implementációnak teljesíteni, ha a felhasználó megsérti az előfeltételt?)

Feladat specifikációja

Állítás: egy logikai függvény a program állapotával kapcsolatosan

Például:

- $x=3$
- $y > x$
- $(x \neq 0) \Rightarrow (y+z = w)$
- $s = \sum_{(i \in 1..n)} v[i]$
- $\forall i \in 1..n : v[i] > v[i-1]$
- true

Feladat specifikációja

Állapottér

- Jelölje $\mathcal{V}$ az n hosszú, valós elemekből álló vektorok típusát! (0-tól $n-1$ -ig indexelve)
- $\mathcal{V} \times \mathcal{R}$
- Változók: $v \quad s$
- Előfeltétel: $v = v'$ és $n > 0$
- Utófeltétel: $s = (\sum i \mid 0 \leq i < n : v[i])$

Hoare – hármask

A programhelyesség formális indoklásához, elő- és utófeltételek használatával

Szintaxis: $\{Q\} S \{R\}$

- Q és R állítások
- S program

Jelentése: Ha kiinduláskor igaz a Q és végrehajtjuk S-t, akkor S egy olyan állapotban terminál, ahol R igaz.

Példák Hoare – hármaskokra

$\{ \text{true} \} x := 5 \{ x=5 \}$

$\{ x = y \} x := x + 3 \{ x = y + 3 \}$

$\{ x > 1 \} x := x * 2 \{ x > 2 \}$

$\{ x=a \} \text{if } (x < 0) \text{ then } x := -x \{ x=|a| \}$

$\{ \text{false} \} x := 3 \{ x = 8 \}$

Legerősebb utófeltétel

Néhány érvényes Hoare-hármas:

- $\{x = 5\} x := x * 2 \{ \text{true} \}$
- $\{x = 5\} x := x * 2 \{ x > 0 \}$
- $\{x = 5\} x := x * 2 \{ x = 10 \parallel x = 5 \}$
- $\{x = 5\} x := x * 2 \{ x = 10 \}$

Mind igaz, de az utolsó a leghasznosabb:

- $x=10$ a legerősebb utófeltétel

Legerősebb utófeltétel

Definíció: Ha $\{Q\} S \{R\}$ és minden olyan R' -re, amire $\{Q\} S \{R'\}$, $R \Rightarrow R'$, akkor R az S Q -ra vonatkozó legerősebb utófeltétele

- ellenőrizzük: $x = 10 \Rightarrow \text{true}$
- ellenőrizzük : $x = 10 \Rightarrow x > 0$
- ellenőrizzük : $x = 10 \Rightarrow x = 10 \parallel x = 5$
- ellenőrizzük : $x = 10 \Rightarrow x = 10$

Leggyengébb előfeltétel

Néhány érvényes Hoare-hármas:

- $\{x = 5 \ \&\& \ y = 10\} \ z := x / y \ \{z < 1\}$
- $\{x < y \ \&\& \ y > 0\} \ z := x / y \ \{z < 1\}$
- $\{y \neq 0 \ \&\& \ x / y < 1\} \ z := x / y \ \{z < 1\}$

Mind igaz, de az utolsó a leghasznosabb, mert ez az, ami a legáltalánosabb feltételekkel engedi hívni a programot:

- $y \neq 0 \ \&\& \ x / y < 1$ a leggyengébb előfeltétel

Definíció: Ha $\{Q\} S \{R\}$ és $\forall Q' \text{ --re, ahol } Q' \Rightarrow Q$ igaz, hogy $\{Q'\} S \{R\}$, akkor Q az $S \ R$ -re vonatkozó leggyengébb előfeltétele (weakest precondition).

- Jelölje ezt $wp(S, R)$.

A wp általános tulajdonságai

1. A csoda kizárásának törvénye
 $wp(S, \text{false}) = \text{false}$
2. Monotonitási tulajdonság
ha $P \Rightarrow R$ akkor $wp(S, P) \Rightarrow wp(S, R)$
3. $wp(S, P \text{ and } R) = wp(S, P) \text{ and } wp(S, R)$
4. $wp(S, P) \text{ or } wp(S, R) \Rightarrow wp(S, P \text{ or } R)$

(Bizonyítás az érdeklődőknek az irodalomban.)

Levezetési szabályok

Értékadás

- $\{ Q \} x := 3 \{ x+y > 0 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Hogy kapjuk meg?
- Mi az a legáltalánosabb értéke az y -nak, amire $3 + y > 0$?
- $y > -3$

Levezetési szabályok

Értékadás

- $\{ Q \} x := 3*y + z \{ x * y - z > 0 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Hogy kapjuk meg?
- Hogy csináltuk az előbb?

Levezetési szabályok

Értékadás

- $\{ Q \} x := 3 \{ x + y > 0 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Értékadási szabály:
 - $wp(x := E, V) = V^{x \leftarrow E}$
 $\{ V^{x \leftarrow E} \} x := E \{ V \}$
 - $(x + y > 0) \ x \leftarrow 3$
 $= (3) + y > 0$
 $= y > -3$

Levezetési szabályok

Értékadás

- $\{ Q \} x := 3*y + z \{ x * y - z > 0 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Értékadási szabály:
 - $wp(x := E, V) = V^{x \leftarrow E}$
 $\{ V^{x \leftarrow E} \} x := E \{ V \}$
 - $(x * y - z > 0) x \leftarrow 3*y+z$
 $= (3*y+z) * y - z > 0$
 $= 3*y^2 + z*y - z > 0$

Levezetési szabályok

Szekvencia

- $\{ Q \} x := x + 1; y := x + y \{ y > 5 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Hogy kapjuk meg?

Levezetési szabályok

Szekvencia

- $\{ Q \} x := x + 1; y := x + y \{ y > 5 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Szekvencia szabálya:
 - $wp(S;T, R) = wp(S, wp(T, R))$
 - $wp(x:=x+1; y:=x+y, y>5)$
= $wp(x:=x+1, wp(y:=x+y, y>5))$
= $wp(x:=x+1, x+y>5)$
= $x+1+y>5$
= $x+y>4$

Levezetési szabályok

Elágazás

- $\{ Q \}$ if $x > 0$ then $y := x$ else $y := -x$ $\{ y > 5 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Intuitív megközelítés
 - ha a feltétel igaz: $\{Q1\} y := x \{ y > 5 \}$
 $Q1 = x > 5$
 - else ág: $\{Q2\} y := -x \{ y > 5 \}$
 $Q2 = -x > 5$
 $Q2 = x < -5$
 - $Q = x > 5 \parallel x < -5$

Levezetési szabályok

Elágazás

- $\{ Q \} \text{ if } x > 0 \text{ then } y := x \text{ else } y := -x \{ y > 5 \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?
- Elágazás szabálya:
 - $\text{wp}(\text{if } B \text{ then } S \text{ else } T, R)$
 $= B \Rightarrow \text{wp}(S, R) \ \&\& \ \neg B \Rightarrow \text{wp}(T, R)$
 - $\text{wp}(\text{if } x > 0 \text{ then } y := x \text{ else } y := -x, y > 5)$
 $= x > 0 \Rightarrow \text{wp}(y := x, y > 5) \ \&\& \ x \leq 0 \Rightarrow \text{wp}(y := -x, y > 5)$
 $= x > 0 \Rightarrow x > 5 \ \&\& \ x \leq 0 \Rightarrow -x > 5$
 $= x > 0 \Rightarrow x > 5 \ \&\& \ x \leq 0 \Rightarrow x < -5$
 $= x > 5 \ || \ x < -5$

Levezetési szabályok

Ciklusok

- $\{ Q \}$ while (felt) törzs $\{ R \}$
- Mi a Q leggyengébb előfeltétel?

Ciklushelyesség bizonyítása

Tekintsük először a parciális helyességet

- Nem biztos, hogy terminál, de ha igen, az utófeltétel igaz lesz
 - $\{Q\} \text{ while } B \text{ do } S \{R\}$

Keressünk egy Inv invariánst, amire

- $Q \Rightarrow Inv$
 - az invariáns kezdetben igaz
- $\{ Inv \ \&\& \ B \} S \{ Inv \}$
 - a ciklusmag minden végrehajtása megőrzi az invariánst
- $(Inv \ \&\& \ \neg B) \Rightarrow R$
 - az invariánsból és a ciklus kilépési feltételéből következik az utófeltétel

Ciklus példa

Bizonyítsuk, hogy a vektor összegzés helyes:

$\{ n \geq 0 \}$

$j := 0;$

$s := 0;$

while $(j < n)$ do

$s := s + v[j];$

$j := j + 1;$

end

$\{ s = (\sum i \mid 0 \leq i < n : v[i]) \}$

Ciklus példa

Bizonyítsuk, hogy a vektor összegzés helyes:

$\{ n \geq 0 \}$

$j := 0;$

$s := 0;$

$\{ \text{Inv} \}$

while $(j < n)$ do

$\{ \text{Inv} \ \&\& \ j < n \}$

$s := s + v[j];$

$j := j + 1;$

$\{ \text{Inv} \}$

end

$\{ s = (\sum i \mid 0 \leq i < n : v[i]) \}$

Ciklus invariáns keresése

Általában az utófeltétel valamilyen gyengítése

- $s = (\sum i \mid 0 \leq i < n : v[i])$

Függ valamilyen módon a ciklusváltozótól

- Tudjuk, hogy j kezdetben 0, és inkrementáljuk, amíg el nem éri n -t
- Így $0 \leq j \leq n$ valószínűleg az invariáns része

Ciklus kilépési feltétel && invariáns $\Rightarrow$ utófeltétel

- Ciklus kilépési feltétel : $j = n$

Jó ötlet: helyettesítsük az utófeltételben n -t j -vel:

- $(\sum i \mid 0 \leq i < j : v[i])$

Invariáns

- $0 \leq j \leq n \ \&\& \ s = (\sum i \mid 0 \leq i < j : v[i])$

Ciklus példa

Bizonyítsuk, hogy a vektor összegzés helyes:

$\{ n \geq 0 \}$

$j := 0;$

$s := 0;$

$\{ 0 \leq j \leq n \ \&\& \ s = (\sum i \mid 0 \leq i < j : v[i]) \}$

while $(j < n)$ do

$\{ 0 \leq j \leq n \ \&\& \ s = (\sum i \mid 0 \leq i < j : a[i]) \ \&\& \ j < n \}$

$s := s + v[j];$

$j := j + 1;$

$\{ 0 \leq j \leq n \ \&\& \ s = (\sum i \mid 0 \leq i < j : v[i]) \}$

end

$\{ s = (\sum i \mid 0 \leq i < n : v[i]) \}$

Mit kell belátni?

1. $Q \Rightarrow \text{Inv}$

- az invariáns kezdetben igaz

2. $\{ \text{Inv} \ \&\& \ B \} \ S \ \{ \text{Inv} \}$

- a ciklusmag minden végrehajtása megőrzi az invariánst

3. $(\text{Inv} \ \&\& \ \neg B) \Rightarrow R$

- az invariánsból és a ciklus kilépési feltételéből következik az utófeltétel

Alphard

Az Alphardot a '70-es évek második felében fejlesztették ki.

- A cél a Hoare-féle helyességbizonyításhoz egy megfelelő specifikációs eszköz kidolgozása volt, ezért sokan a a tökéletes megoldást látták benne.
- Végül azonban az implementálásig soha nem jutott el.

Mégis számos helyen oktatják a típusspecifikációs módszerek között, mert a specifikációs lehetőségei és a helyességbizonyításra való alkalmassága a legtöbb módszerhez képest sokkal kifinomultabbak.

Az Alphasoft a típusokat formoknak nevezi. Egy típust a következő módon kell megadni:

- form típusnév (formális paraméterek) =
beginform
specifications
...
representation
...
implementation
...
endform;

```
form istack (n: integer) =  
beginform  
  specifications  
    requires n > 0;  
    let istack=<...,xi,...> where xi is integer;  
      -- egészekből álló sorozat  
    invariant 0 <= length (istack) <= n;  
    initially istack = nullseq;  
      -- az absztrakt objektum kezdeti tulajdonságai
```

```
function push (s: istack, x: integer)
    pre 0 <= length (s) < n
    post s = s' ~ x,  -- konkatenáció
pop (s: istack)
    pre 0 < length (s) <= n
    post s = leader (s'),
top (s: istack) returns x: integer
    pre 0 < length (s) <= n
    post x = last (s),
isempty (s: istack) returns b: boolean
    post b = (s = nullseq);
```

representation

...

implementation

...

endform;

A requires a formális paraméterekre vonatkozó megszorításokat tartalmazza.

A let kulcsszó után a típus leírására használt absztrakt adattípust adjuk meg (jelen esetben az integereket tartalmazó sorozatot).

Az invariant a specifikáció szerinti típusinvariánst írja le.

- A példányosítás majd a konkrét térben fog megtörténni.

A reprezentációs függvény, amelyet a representation-ben kell megadni, fog visszaképezni erre az absztrakt adattípusra.

Minden konkrét térben inicializált objektumra alkalmazzuk a reprezentációs függvényt és az így kapott “absztrakt objektumoknak” ki kell elégíteniük az initiallyban megadott feltételt.

Az initially az absztrakt kezdeti objektum tulajdonságait írja le.

A function záradékban az absztrakt adattípus műveleteit specifikáljuk elő-utófeltételekkel.

```
form istack (n: integer) =  
  beginform  
    specifications  
    ...  
  representation  
    unique  v: vector (integer, 1, n)  
            sp: integer init sp <- 0;  
    rep (v, sp) = seq (v, 1, sp);  
    invariant 0 <= sp <= n;  
  states  
    empty when sp = 0,  
    normal when 0 < sp < n,  
    full when sp = n,  
    error otherwise;
```

Implementation

```
body push out ( $s.sp = s.sp' + 1 \wedge s.v = \alpha(s.v', s.sp, x)$ ) =  
    empty, normal:: ( $s.sp \leftarrow s.sp + 1$ ;  $s.v[s.sp] \leftarrow x$ );  
    otherwise:: FAIL;  
body pop out ( $s.sp = s.sp' - 1$ ) =  
    normal, full::  $s.sp \leftarrow s.sp - 1$ ;  
    otherwise:: FAIL;  
body top out ( $x = s.v[s.sp]$ ) =  
    normal, full::  $x \leftarrow s.v[s.sp]$ ;  
    otherwise:: FAIL;  
body isempty out ( $b = (sp = 0)$ ) =  
    normal, full::  $b \leftarrow \text{false}$ ;  
    empty::  $b \leftarrow \text{true}$ ;  
    otherwise:: FAIL;  
endform;
```

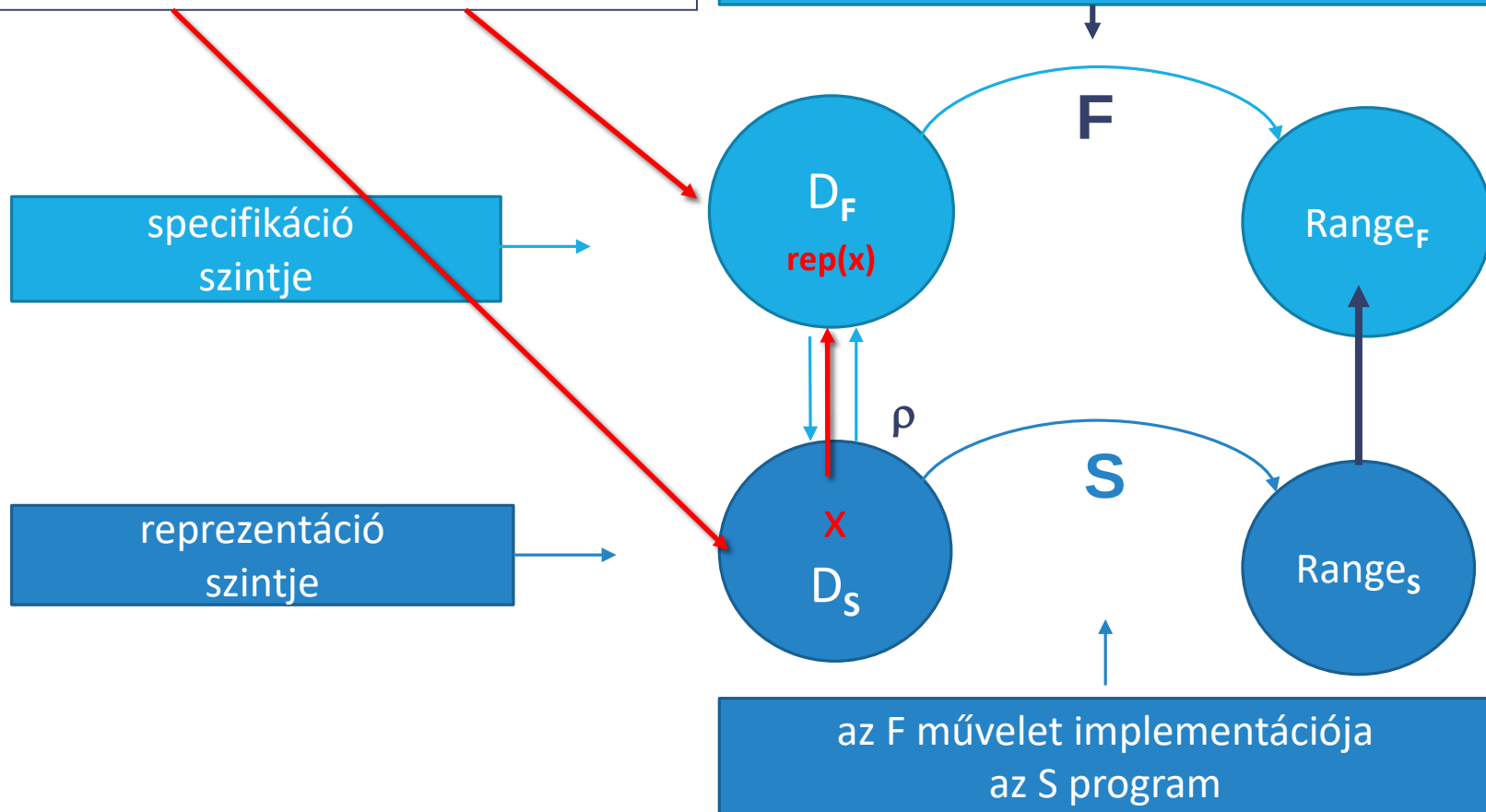
Hogyan láthatjuk be az így specifikált adattípus (form) helyességét?

Jelöljük a specifications záradék invariánsát I_a -val, míg a representation záradékbeli invariánst I_c -vel. Jelöljük a specifications záradékban levő requirest β_{req} -val, az initiallyt pedig β_{init} -tel. Jelöljük az inicializáló műveletet f_{init} -tel, a többi f -fel, míg egy művelet végrehajtását $\{ \}$ jelekkel.

Jelöljük az f absztrakt műveletekhez tartozó elő- és utófeltételeket pre_a^f -vel és $post_a^f$ -vel, míg a konkrét szinten pre_c^f -vel és $post_c^f$ -vel.

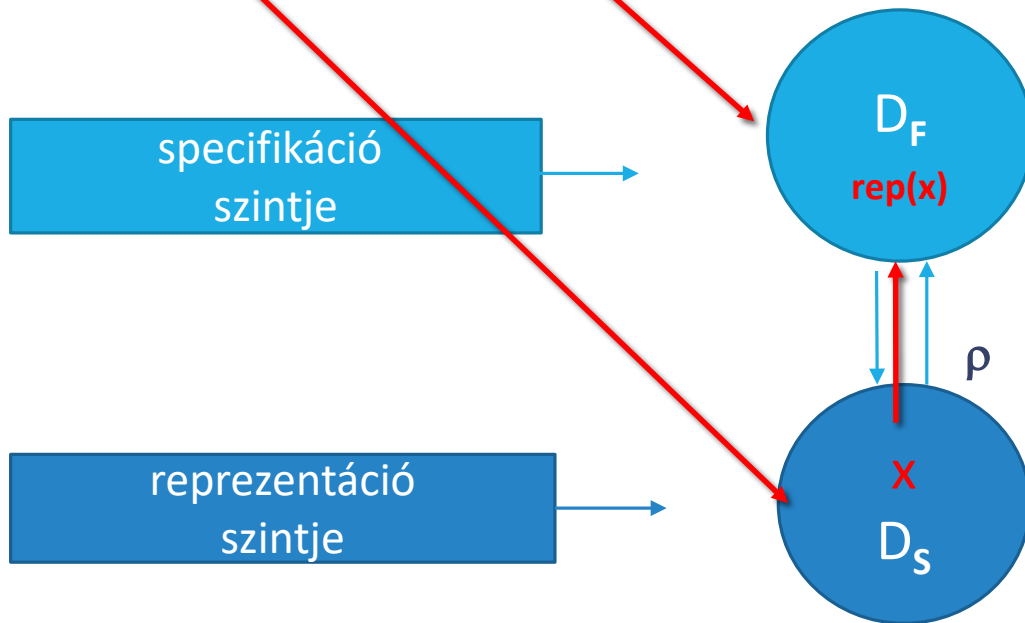
1. A reprezentáció helyességének ellenőrzése:

$$I_c(x) \Rightarrow I_a(\text{rep}(x))$$



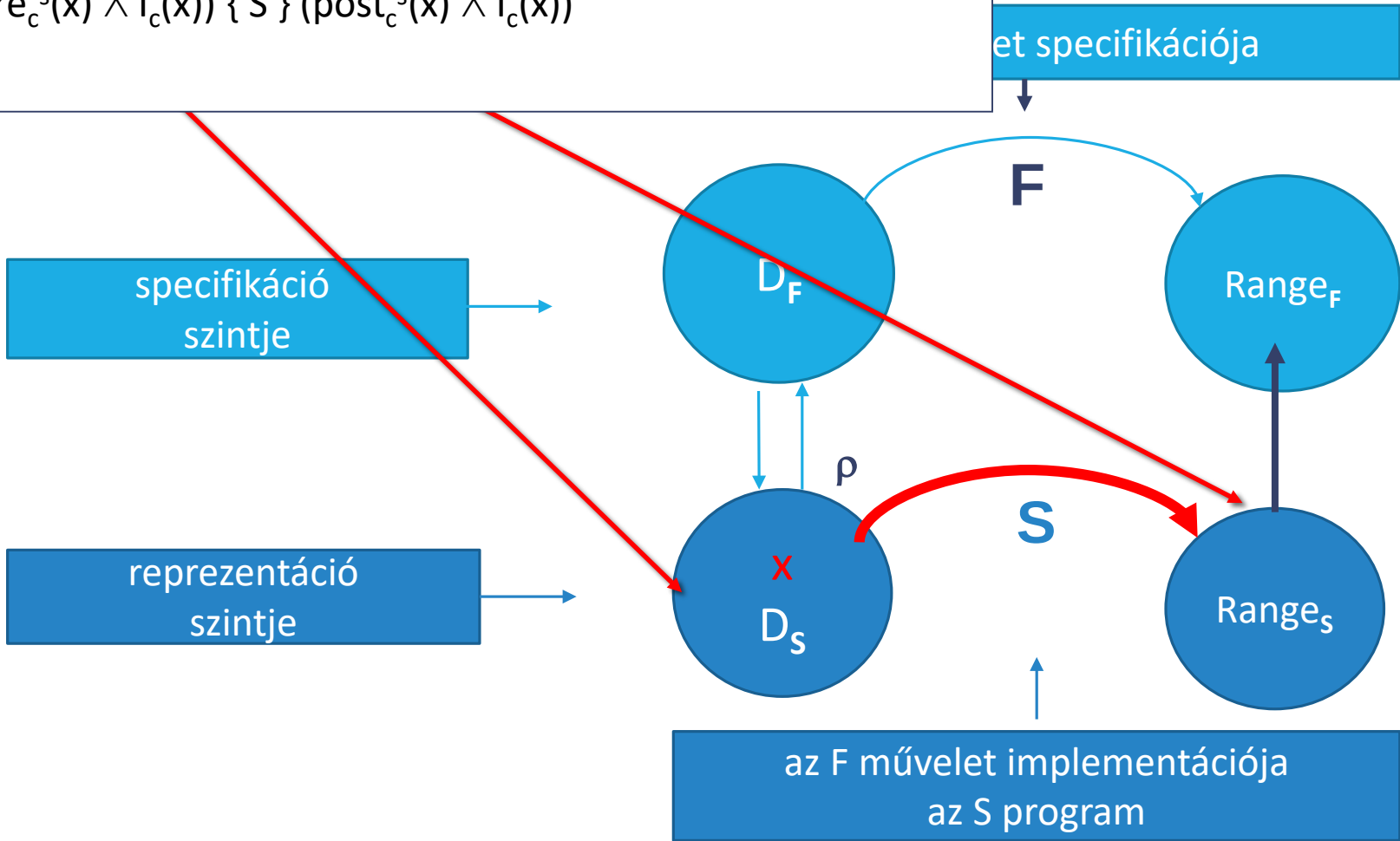
2. Az objektum inicializálásának ellenőrzése:

$$\beta_{\text{req}} \{f_{\text{init}}\} (\beta_{\text{init}} (\text{rep}(x)) \wedge I_c(x))$$



3. Minden f műveletre:

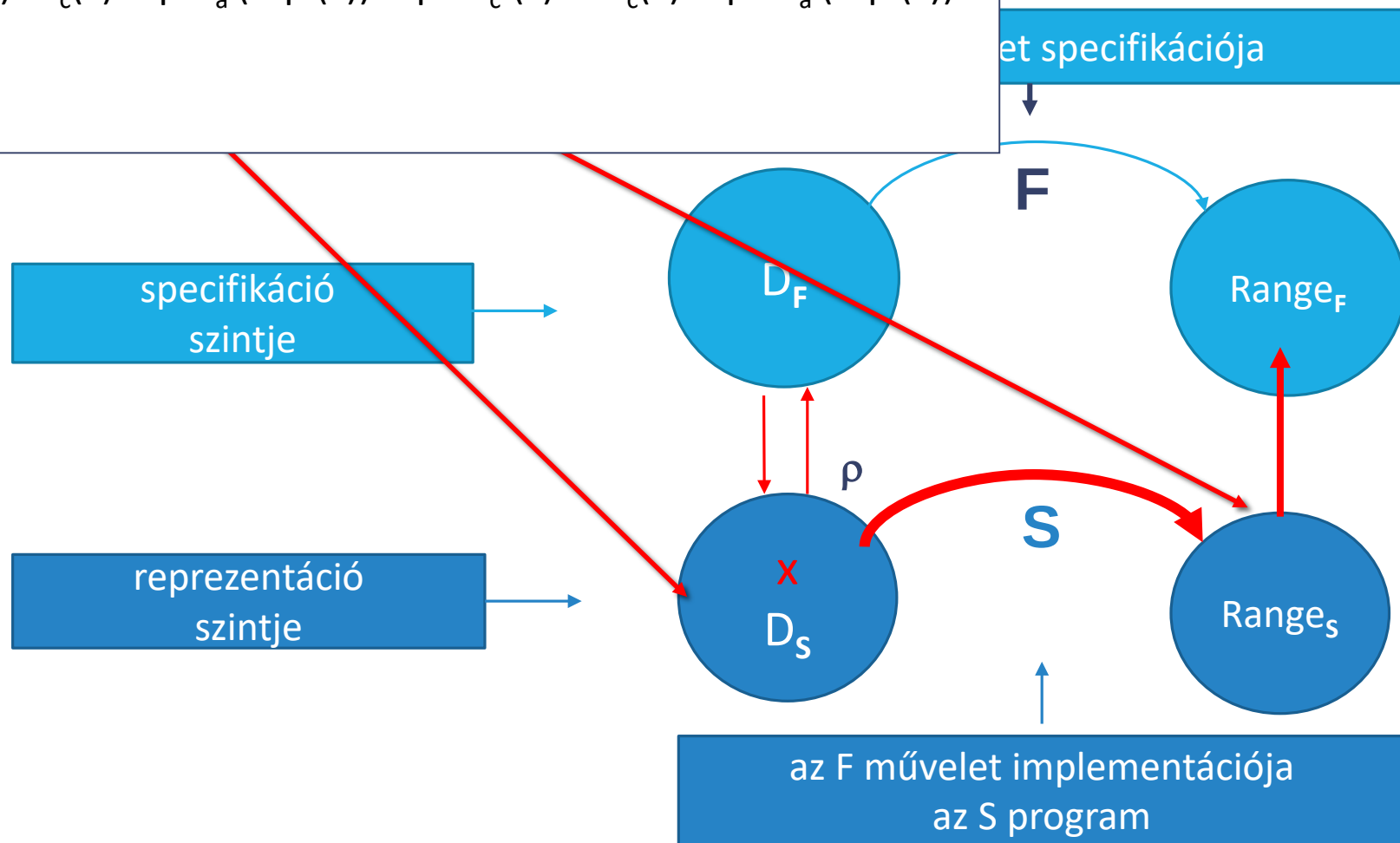
- a. A konkrét művelet (S)
helyességének ellenőrzése:
 $(pre_c^s(x) \wedge I_c(x)) \{ S \} (post_c^s(x) \wedge I_c(x))$



b. A konkrét és az absztrakt specifikáció közötti kapcsolat ellenőrzése:

$$(1) \quad I_c(x) \wedge \text{pre}_a^f(\text{rep}(x)) \Rightarrow \text{pre}_c^s(x)$$

$$(2) \quad I_c(x) \wedge \text{pre}_a^f(\text{rep}(x)) \wedge \text{post}_c^s(x) \Rightarrow I_c(x) \wedge \text{post}_a^f(\text{rep}(x))$$



Bertrand Meyer (1950-)

francia tudós

Munkássága

- „Design by Contract”
- „Object-Oriented Software Construction”
- Eiffel
- ETH Zürich



„Design by Contract”

Programozás szerződéssel

- Bertrand Meyer „Object-Oriented Software Construction”
- 1986 óta

Jogok és kötelezettségek

- Az előfeltétel a megrendelő kötelezettsége
- Az utófeltétel a teljesítést vállalóé

Eiffel

Az Eiffel beépített nyelvi eszközökkel rendelkezik formális specifikációk megadására és az Eiffel futtató rendszer ellenőrizni is tudja, hogy az egyes programegységek nem sértik-e meg a specifikációt.

A típusok műveleteinek elő-utófeltételes specifikációja fontos szerepet játszik az Eiffel módszertanában:

- felhasználják a program tervezése során a követelmények pontosabb megfogalmazására, de teszteléskor és dokumentációs célokra is.

A nyelv tervezésekor ugyanakkor nem volt cél, hogy a fordítóprogram bizonyítsa a program helyességét, mert ez a gyakorlatban nem oldható meg.

Elő- utófeltételek

forth is

-- Move forward one position.

require

not_after: not after

do

... Some appropriate implementation

ensure

position = old position + 1

end - forth

put_i_th (v: like first; i: INTEGER) is

-- Put item v at i-th position.

require

index_large_enough: i >= 1;

index_small_enough: i <= count;

deferred

ensure

not empty

end - put_i_th

Osztályinvariáns

deferred class CHAIN feature

...

invariant

--Definitions:

empty = (count = 0);

off = ((position = 0) or (position = count + 1));

isfirst = (position = 1);

islast = (not empty and (position = count));

-- Axioms:

count >= 0;

position >= 0; position <= count + 1;

empty => (position = 0);

(not off) => (item = i_th (position));

-- Theorems:

(isfirst or islast) implies not empty

end -- class CHAIN

A C osztály konzisztens:

A C osztály minden p konstruktor eljárására:

- $\{pre_p\} \text{ do}_p \{INV_C\}$

A C osztály minden r metódusára, amit általában, vagy szelektíven exportál:

- $\{pre_r \wedge INV_C\} \text{ do}_r \{post_r \wedge INV_C\}$

Kvantorok megadására nincs lehetőség, de használhatjuk az **old** operátort:

- Az **old** operátorral egy objektum végrehajtandó metódusába való belépése előtti állapotát jelöljük;
Utófeltételben: $x = \text{old } x + 1$

Ciklushelyesség:

```
from -INIT
  go_before
invariant - INV
   $0 \leq \text{child\_position}; \text{child\_position} \leq \text{arity} + 1$ 
variant -VAR
   $\text{arity} - \text{child\_position} + 1$ 
until -EXIT
  child after or else ( $j = i$ )
loop - BODY
  child_forth;
  if ( $\text{sought} = \text{child}$ ) then
     $j := j + 1$ 
  end
end
```

Ciklusinvariáns és
terminátor függvény

Ciklushelyesség

A C osztály r metódusa akkor és csak akkor ciklushelyes, ha minden ciklusra:

1. {True} INIT {INV}
2. {True } INIT {VAR $\geq$ 0 }
3. {INV and then not EXIT} BODY { INV }
4. { INV and then not EXIT and then (VAR=v) }
BODY { 0 $\leq$ VAR<v }

Exception helyesség

Egy C osztály egy r rutinja exception-helyes akkor és csak akkor, ha a rescue blokkjának minden 'b' ágára a következő igaz:

- Ha b egy retry-jal végződik:
 - $\{ \text{true} \} b \{ \text{INV}_C \text{ and } \text{pre}_r \}$
- Ha b nem retry-jal végződik:
 - $\{ \text{true} \} b \{ \text{INV}_C \}$

Öröklődés és helyesség

Az öröklődés során az elő-utófeltételek újradeklarálhatóak, amelyre az Eiffel a **require else** ... alternatív előfeltételt és az **ensure then** ... extra utófeltételt adja.

Legyenek $pre_1, \dots, pre_n$ az ősök előfeltételei, $post_1, \dots, post_n$ az ősök utófeltételei, ezek mind **or else** kapcsolatban lesznek az előfeltételnél és **and then** kapcsolatban az utófeltételnél (az esetek többségében $n=1$).

Ekkor a metódus előfeltétele:

alternatív előfeltétel **or else** pre_1 **or else** ... **or else** pre_n
utófeltétele:

alternatív utófeltétel **and then** $post_1$ **and then** ... **and then** $post_n$

A DbC ezt úgy fogalmazza meg, hogy egy rutint újradefiniálni azt jelenti, hogy **alszerződést** kötök a leszármazottal, amire a kliensek az őisével már kötöttek. Egy becsületes alvállalkozó legalább olyan jól teljesíti a követelményeket, mint az eredeti. Ez azt jelenti:

- megtartja, vagy gyengíti az előfeltételt, vagyis nincs új követelménye a kliens felé,
- megtartja vagy szűkíti az utófeltételt, vagyis az eredmény legalább olyan jó, mint az eredeti szerződésben volt.

A program tetszőleges pontján elhelyezhetünk egy állítást, amelyet a futtató rendszer ellenőriz. Erre a **check** utasítás szolgál.

A környezet számos opciója segíti, hogy melyik állítást értékeljük ki. A lehetséges szintek:

- no - nem ellenőrzi az állításokat
- require - mindig az előfeltételeket ellenőrzi (alapértelmezett)
- ensure - előfeltételek és utófeltételek ellenőrzése
- invariant - az előzőeken túl az osztályinvariáns is
- loop - az előzőeken túl a ciklusok ellenőrzése
- all - az előzőeken túl a check utasítások ellenőrzése

Az egyes szintek jelentősége főleg a tesztelésnél van.

D nyelv

Assert:

legegyszerűbb feltétel: ha nem teljesül,
AssertionException-t dob

```
int i;  
Symbol s = null;  
for (i = 0; i < 100 ; i++)  
{  
    s = search(array[i]);  
    if (s != null) break;  
}  
assert (s != null); //megtaláltuk-e a keresett elemet
```

D nyelv

Elő és utófeltételek

`in { ... } out { ... } body { ... }`

- in és out elhagyható
- Ha csak body van, akkor a „body” tag is elhagyható
- in: a hívás előtt fut le
- out: a blokk elhagyásakor fut le, bárhogyan is lépünk ki belőle
- body: a függvény / blokk törzse
- Szabály: in és out bármilyen utasítást tartalmazhat, de a környezetet nem változtathatja meg
 - tipikusan assertekkel van tele

D példa elő és utófeltételekre

```
long square_root(long x)
  in
  {
    assert(x >= 0);
  }

  out (result)
  {
    assert((result * result) <= x &&
           (result+1) * (result+1) > x);
  }

  body
  {
    return cast(long)std.math.sqrt(cast(real)x);
  }
```

D - osztály invariáns

Speciális tagfüggvény: `invariant()`

Az osztály adatait nem módosíthatja

A konstruktor elhagyásakor, a destruktor előtt, illetve minden egyes tagfüggvény hívása előtt és után lefut, hogy az objektum helyességét ellenőrizze

```
class Date {
    int day;
    int hour;
    invariant()
    {
        assert(1 <= day && day <= 31);
        assert(0 <= hour && hour < 24);
    }
}
```

Oxygene

Object Pascal alapján .NET-re és Mono-ra.

Elő és utófeltételek

- Az előfeltételt a "require" kulcsszó után kell megadni. Igaznak kell lennie a metódusba való belépéskor.
 - Például itt megkötéseket tehetünk a metódus paramétereire.
- Az utófeltételnél megadott feltételek az előtt értékelődnek ki, mielőtt a metódus befejeződne és a vezérlés az őt hívó blokkba térne vissza.
 - Az "ensure" kulcsszó után tehetjük
- Az elő és utófeltételeket egy osztály metódusánál lehet alkalmazni.

Oxygene - invariáns

"invariants" kulcsszó után lehet megadni.

kétféle változata van:

- "public invariants", - az összes publikus metódus végén leellenőrzi (az utófeltétel után).
- "private invariants", ami az összes metódus végén leellenőrzi

Oxygene - invariáns

type

MyClass = class;

public

... some methods or properties

public invariants

fField1 > 35;

SomeProperty = 0;

SomeBoolMethod() and not (fField2 = 5);

private invariants

fField > 0;

end;

Cobra

2009. február 29-én, MIT licenz alatt publikált általános célú, open source programozási nyelv, még jelentős fejlesztés alatt áll.

Chuck Esterbrook tervezte, a Python nyelvhez kapcsolódó fejlesztései miatt ismert.

Ebből következik, hogy a Cobra jelentősen épít a Python alapjaira, a két nyelv szintaktikája majdnem teljesen megegyező

- Microsoft .NET és Mono futtató környezetekhez készült megvalósítás, lesz majd más is.

Cobra

A Cobra a contractok fogalmát átörököltette az Eiffel nyelvből.

Megkövetelhetjük, hogy bizonyos elő-, utófeltételek és invariáns tulajdonságok teljesüljenek egy metódus végrehajtásakor.

- require - előfeltételek
- ensure - utófeltételek

A feltételeket egymás alatt felsorolva, logikai kifejezések listájaként adhatjuk meg

- invariant - osztályinvariáns
- assert használható

öröklődnek, a „szokásos” szabályok szerint

Cobra

```
class Person
  def drive(v as Vehicle)
    require
      not v.hasDriver
      v.isOperable
    ensure
      v.miles > old v.miles
    body
      ...
```

Cobra

```
class ContiguousList<of T>
  implements IList<of T>
    def insert(index as int, item as T)
      require
        index >= 0 and index < count
      ensure
        .count = old .count + 1
        this[index] is item
      body ...
```

Cobra – elő-utófeltétel öröklődés

```
class NonContiguousList<of T>
  inherits ContiguousList<of T>
  """
  Allows insertions past the end of the list.
  """
  def insert(index as int, item as T)
    or require index >= 0
    body ...
```

- utófeltételnél: **and ensure**

Cobra - invariáns

```
class Player
```

```
invariant
```

```
  .name.length
```

```
  .score >= 0
```

```
  .isAlive implies .health > 0
```

Java – assert

assert utasítás:

- Programming With Assertions

<http://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/language/assert.html>

Az utasítással különböző elő- és utófeltételeket, invariánsokat fogalmazhatunk meg.

Előnye a feltételes utasításokkal szemben: használata ki- és bekapcsolható.

Az utasításnak két alakja van:

- `assert logikai_kifejezés;`
- `assert logikai_kifejezés : üzenet;`

Java – assert

Például két változóról azt feltételezzük, hogy az egyik kisebb, mint a másik. Ekkor az utasítás így nézhet ki:

- `assert x < y;`

Ha a feltétel nem teljesül, akkor az utasításnak ez a formája `AssertionError` hibát dob.

Ha az üzenetet is megadjuk, akkor azt is kiírja.

Fontos szabály, hogy az `assert` utasítás feltételének nem szabad befolyásolnia az alkalmazás működését, ugyanis az előfeltevések használata kikapcsolható.

Nem érdemes például metódushívást szerepeltetni benne.

- Egyébként minden feltétel szóba jöhet.

Java – assert példa

Ellenőrzi, hogy a beolvasott érték 0 és 10 között van-e:

```
import java.util.Scanner;
public class AssertTest {
    public static void main( String args[] ) {
        Scanner input = new Scanner( System.in );
        System.out.print( "Enter a number between 0 and 10: " );
        int number = input.nextInt();
        // assert that the value is >= 0 and <=10

        assert ( number >= 0 && number <= 10 ):
            "bad number: " + number;
        System.out.printf( "You entered %d\n", number );
    } // end main
} // end class AssertTest
```

```
Enter a number between 0 and 10: 5
You entered 5
```

Java – assert példa

Enter a number between 0 and 10: 50

```
Exception in thread "main" java.lang.AssertionError: bad  
number: 50  
at AssertTest.main(AssertTest.java:15)
```

Java – jContractor

A Design by Contract 100%-os Java megvalósítása

A szerződéseket egy elnevezési koncepció alapján, függvények formájában adhatjuk hozzá az osztályhoz.

A jContractorhoz nem tartozik külön specifikációs nyelv, a feltételeket Java nyelven fogalmazhatjuk meg.

Nagy előnye, hogy használatához magán a könyvtáron kívül nincs szükség további eszközökre, módosított compilerre, előfordításra.

Java – jContractor előfeltétel

Az előfeltételt külön függvényben kell definiálnunk

A boolean visszatérési értékű függvényt úgy nevezzük el, hogy az eredeti függvéynév után a `_Precondition` utótagot írjuk:

```
protected boolean push_Precondition (Object o) {  
    return o != null;  
}
```

Az előfeltételt az eljárásba belépés előtt ellenőrizzük.

Konstruktor esetén az ellenőrzés az őszosztály konstruktorának meghívása után történik.

```
protected boolean Stack_Precondition  
(Object [] initialContents) {  
    return (initialContents !=  
    null)&&(initialContents.length>0);  
}
```

Java – jContractor előfeltétel

Szabályok:

- A Contract metódusoknak nem lehet előfeltétele
- Natív metódusoknak nem lehet előfeltétele
- A `main(String [] args)` metódusnak nem lehet előfeltétele.
- Egy static metódus előfeltétele static kell legyen
- Egy nem static metódus előfeltétele nem lehet static
- Egy nem-private metódus előfeltétele protected kell legyen
- Egy private metódus előfeltétele private kell legyen

Java – jContractor utófeltétel

Az utófeltételeket az előfeltételekhez hasonlóan egy-egy külön függvényben tudjuk definiálni. Az utótag itt `_Postcondition`.

Az utófeltétel boolean visszatérési értékű függvénye azokat az argumentumokat várja, amiket az eredeti függvény is, kiegészítve egy `RESULT` elnevezésű argumentummal -- ennek típusa az eredeti függvény visszatérési értékének típusa.

Java – jContractor utófeltétel

Konstruktor esetén a RESULT Void típusú változó lesz.

```
protected boolean push_Postcondition (Object o, Void RESULT) {  
    return implementation.contains(o) && (size()==OLD.size()+1);  
}
```

Az utófeltételben az objektum a függvénybe belépéskor érvényes állapotának megfelelő értékeit az OLD példányváltozón keresztül érjük el. Az OLD használatához az osztálynak meg kell valósítania a Cloneable interfészt, azaz biztosítania kell egy clone() tagfüggvényt az objektum duplikálásához.

Java – jContractor utófeltétel

Szabályok:

- A Contract metódusoknak nem lehet utófeltétele
- Natív metódusoknak nem lehet utófeltétele
- Egy static metódus utófeltétele static kell legyen
- Egy nem static metódus utófeltétele nem lehet static
- Egy nem-private metódus utófeltétele protected kell legyen
- Egy private metódus utófeltétele private kell legyen
- A konstruktorok utófeltételei nem hivatkozhatnak az OLD-ra

Java – jContractor invariáns

Az invariáns ellenőrzését egy boolean visszatérési értékű, `_Invariant` nevű, argumentum nélküli `protected` függvényben valósítjuk meg.

Az invariáns ellenőrzése a publikus függvényekbe való belépéskor és a publikus függvények, illetve a konstruktor lefutása után történik meg.

```
protected boolean _Invariant () {  
    return size() >= 0;  
}
```

Java – jContractor invariáns

Szabályok:

- A contract, a static és a natív metódusokra az invariánst nem ellenőrzi.
- Az invariánst konstruktor esetén csak kilépéskor ellenőrzi.
- Az `_Invariant()` metódus `protected` és `non-static` kell legyen

Java – jContractor

A jContractorban definiált szerződések öröklődése biztosított a szokásos értelemben, az előfeltételek gyengülhetnek, az utófeltétel és az invariáns tulajdonság erősödhet a leszármazott osztály kontraktusainak bevezetésekor.

A szerződések megsértése esetén a rendszer `edu.ucsb.ccs.jcontractor.PreconditionViolationError`, `PostconditionViolationError` vagy `InvariantViolationError` hibát generál, a program futása megáll.

Java – jContractor

Szerződés-osztályok használata

Az előzőekben felsorolt szerződéseket egy külön osztályba is kigyűjthetjük. Ezeknek az osztályoknak `_CONTRACT` utótagot kell tenni a nevébe:

```
class Stack_CONTRACT extends Stack {  
    private Stack OLD;  
    private Vector implementation;  
    protected boolean Stack_Postcondition (Object [] initialContents, Void RESULT)  
    {  
        return size() == initialContents.length;  
    } ...  
}
```

Ennek segítségével interfészek számára is definiálhatunk kontraktusokat

A kontraktusosztály metódusait a jContractor az eredeti osztály metódusaiként fogja értelmezni.

Java – jContractor Kvantorok

A jContractor szerződésekben a JaQual könyvtárat (Java Quantification Library) használhatjuk az egzisztenciális és univerzális kvantorokat használó feltételek megfogalmazásához.

Négyféle JaQual kifejezést használhatunk:

- A `ForAll.in(collection).ensure(assertion)` kifejezéssel meggyőződhetünk arról, hogy egy kollekció minden elemére teljesül az `assertion`-ben megadott feltétel:

```
Assertion connected = new Assertion () {  
    boolean eval (Object o) {  
        return ((Node) o).connections >= 1;  
    }  
};  
return ForAll.in(nodes).ensure(connected);
```

Java – jContractor Kvantorok

- Az `Exists.in(collection).suchThat(assertion)` kifejezéssel az egzisztenciális kvantort tudjuk kiváltani, működése a `ForAll`-hoz hasonló.
- Az `Elements.in(collection).suchThat(assertion)` függvény egy `Vectort` ad vissza azokból az elemekből, melyek kielégítik az `assertion`-ben megadott feltételt.
- A `Logical.implies(a, b)` függvény a logikai következtést valósítja meg: igazat ad vissza, ha az `a` hamis vagy ha `a` és `b` mindegyike igaz volt.

Java – jContractor Kvantorok

A JaQual rendelkezik beépített assertionökkel, ezek a következők:

- InstanceOf: ellenőrzi, hogy egy objektum a megadott osztály példánya-e
- Equal: ellenőrzi, hogy a két objektum megegyezik-e
- InRange: ellenőrzi, hogy a megadott érték egy intervallumba esik-e
- Not: egy másik kifejezés negálásához használható

Java – JML

Java Modelling Language (JML)

- A JML egy formális viselkedési interfész-specifikációs nyelv. A viselkedési specifikáció alatt értjük, hogy a Java osztályok interfészének szokásos szintaktikus leírásán (függvénynevek, láthatóság, visszatérési értékek stb.) túl az egyes függvények viselkedését is megpróbáljuk specifikálni a rendszerben.
- A JML nyelvben a szerződéseket megfogalmazó feltételeket annotációs megjegyzések formájában helyezhetjük el a programkódban.
- Ez lehet egy `/**`-gal kezdődő sor vagy egy `/*@ ... */` blokk.

Java – JML

Java Modelling Language (JML)

- A kifejezésekben a Java jelölésrendszerét használhatjuk, kibővítve néhány speciális elemmel.
- Az elkészült kódot a JML saját compilerével, a jmlc-vel kell lefordítanunk, de mivel a kontraktusokat megjegyzések formájában írtuk fel, a kód fordítható marad az eredeti Java fordítóval is.
- A kontraktusok ellenőrzése kikapcsolható.

Java – JML

```
public class IMath {  
    /*@ requires (* x is positive *);  
    @  ensures \result >= 0 &&  
    @  (* \result is an int approximation to square root of x *)  
    @*/  
    public static int isqrt(int x) { ... }
```

Java – JML

Szintaxis	Jelentés
<code>\result</code>	Eredmény
<code>A==>B</code>	A-ból következik B
<code>A<==B</code>	B-ből következik B
<code>A<==>B</code>	A iff B
<code>A<!=>B</code>	$\neg(A <==> B)$
<code>\old(E)</code>	E eredeti értéke

Minősítők

- Univerzális és egzisztenciális (`\forall` és `\exists`)
- Általános (`\sum`, `\product`, `\min`, `\max`)
- Numerikus (`\num_of`)

Függvény specifikációja

```
/*@ requires len >= 0
   @ ensures \result ==
   @          (\sum int j; 0 <= j && j < len; v[j])
   @*/
float sum (int v[], int len) {
    float s = 0.0;
    int i = 0;
    while (i < len) {
        s = s + v[i];
        i = i + 1;
    }
    return s;
}
```

JML – példa

```
public class IntegerSetf
```

```
...
```

```
    byte[] a; /* The array a is sorted */
```

```
    /*@ invariant
```

```
    (\forall int i; 0 <= i && i < a.length-1;
```

```
        a[i] < a[i+1]);
```

```
    @*/
```

JML – példák

```
public class BankAccount {  
    final static int MAX_BALANCE = 1000;  
    int balance;  
    int debit(int amount) {  
        balance = balance - amount;  
        return balance; }  
    int credit(int amount) {  
        balance = balance + amount;  
        return balance; }  
    public int getBalance(){ return balance; }  
    ...  
}
```

JML – példák

Elő- és utófeltétel:

```
/*@ requires amount >= 0;
    ensures
        balance == \old(balance)-amount &&
            \result == balance;
    @*/
public int debit(int amount) {
    ...
}
```

JML – példák

Invariáns:

```
public class BankAccount {  
    final static int MAX_BAL = 1000;  
    int balance;  
    /*@ invariant 0 <= balance &&  
                balance <= MAX_BAL;  
    @*/  
    ...  
}
```

Invariánsok implicit módon hozzáadódnak az elő- és utófeltételekhez

Contracts for Java (cofoja)

A Google –nál fejlesztették 2011-ben

Annotációkat lehet használni

- Típus invariáns – **Invariant** kulcsszó – minden publikus és csomagszintű láthatóságú metódus be- és kilépésnél, és a konstruktorok végén ellenőrzi, öröklődésnél **and** kapcsolat
- Előfeltételek – **Requires** kulcsszó - metódus belépésnél ellenőrzi, öröklődésnél **or** kapcsolat
- Utófeltételek – **Ensures** kulcsszó - metódus normál kilépésnél ellenőrzi, öröklődésnél **and** kapcsolat
- Kivételes utófeltételek - **ThrowEnsures Checked** - ha exception lépett fel, ezt ellenőrzi
- **old** és **result** lehetősége

Contracts for Java (cofoja) példa

```
@Invariant("size() >= 0")
```

```
interface Stack<T> {  
    public int size(); ...
```

```
@Requires("size() >= 1")
```

```
@Ensures({ "size() == old(size()) - 1",  
            "result == old(peek())" })
```

```
public T pop();
```

```
...
```

```
}
```

C# és VB

Code Contracts Library a .NET-ben:

- <http://research.microsoft.com/en-us/projects/contracts/>

Ingyen letölthető:

- <https://visualstudiogallery.msdn.microsoft.com/1ec7db13-3363-46c9-851f-1ce455f66970>

Code Contracts Library

Előfeltételek: **Contract.Requires(...)**

- általában paraméterek ellenőrzésére
- az előfeltételben szereplő összes tagnak elérhetőnek kell lennie az adott helyen (különben az előfeltételt nem tudja értelmezni a hívó metódus)
- a megadott feltételeknek nem lehet mellékhatásuk.

Code Contracts Library

Előfeltételek: `Contract.Requires(...)`

Példák:

- az x paraméter nem lehet null:
 - `Contract.Requires ( x != null );`
- ha az adott feltétel nem teljesül, milyen kivétel váltódjék ki:
 - `Contract.Requires<ArgumentNullException>(x != null);`

Code Contracts Library

„Örökölt” követelmények:

- A legtöbb kódban a paraméterek ellenőrzésére if-then-throw szerkezet, ha ezek a metódus elején, át lehet alakítani előfeltételekké, de egy explicit contract metódushívás kell utána
 - pl.: Requires, Ensures, EnsuresOnThrow vagy EndContractBlock
- ```
if (x == null) throw new ...
Contract.EndContractBlock();
// minden megelőző if-et előfeltételnek tekint
```

# Code Contracts Library

---

## Utófeltételek

- Ellenőrzése az adott metódus végrehajtása után
- **Közönséges utófeltétel**
  - `Contract.Ensures()`
  - `Contract.Ensures( this .F > 0 );`
- **Kivételes utófeltételek**: Ha a metódus végrehajtása során kivétel váltódik ki, akkor is lehetőség van az utófeltétel ellenőrzésére. Ekkor a kivétel típusától (T) függően is lehet megadni feltételt:
  - `Contract.EnsuresOnThrow<T>( this.F > 0 );`

# Code Contracts Library

---

Speciális metódusok az utófeltételben:

- csak utófeltételek belsejében lehet használni
- `Contract.Result<T>()`
  - hivatkozik a T típusú visszatérési értékre (void típusú függvényeknél nem használható)
- `Contract.Ensures(0 < Contract.Result<int>());`

# Code Contracts Library

---

`Contract.OldValue<T>(e)`

az e kifejezés metódus hívása előtt értékét adja vissza.

Megszorítások:

- az e kifejezés nem tartalmazhat másik régi értéket lekérdező függvényt
- csak olyan kifejezésre hivatkozhat, aminek létezett értéke a metódus meghívása előtt.

# Code Contracts Library

---

## Példák lehetséges hibákra:

- A metódus visszatérési értékének a régi értékére nem lehet hivatkozni.
  - `Contract.OldValue(Contract.Result<int>() + x) // ERROR`
- A régi érték nem függhet a visszatérési értéktől.
  - `Contract.ForAll(0, Contract.Result<int>(),  
i => Contract.OldValue(xs[i]) > 3 ); // ERROR`

# Code Contracts Library

---

`Contract.ValueAtReturn<T>(out T t)`

Az out paraméter értékének ellenőrzésére az utófeltételben.

```
public void OutParam(out int x){
 Contract.Ensures(Contract.ValueAtReturn(out x) == 3);
 x = 3;
}
```

# Code Contracts Library

---

## Invariánsok (Invariants)

- Az összes invariáns void típusú függvény kell legyen, ha az adott osztályból lehet származtatni, akkor a láthatóságnak protected-et kell megadni.
- A [ContractInvariantMethod] attribútummal jelöljük, hogy az adott metódus egy invariáns
- Az invariáns ellenőrzése az összes publikus metódus végrehajtása után megtörténik.
- Ha az invariánsban belül hivatkozunk az osztály egy másik publikus metódusára, akkor csak a legkülső függvényénél történik ellenőrzés.

# Code Contracts Library

---

[ContractInvariantMethod]

```
protected void ObjectInvariant()
{
 Contract.Invariant(this.y >= 0);
 Contract.Invariant(this.x > this.y);
 ...
}
```

# Code Contracts Library

---

## Contract.Assert

- a program egy bizonyos pontján tudunk ellenőrizni:

```
Contract.Assert(this.privateField > 0);
Contract.Assert(this.x == 3,
 "Why isn't the value of x 3?");
```

## Contract.Assume

- Egy feltevést ír le, működése megegyezik az Assert-tel futási időben, de itt fordítási idejű ellenőrzés is van!

```
Contract.Assume(this.privateField > 0);
Contract.Assume(this.x == 3,
 "Static checker assumed this");
```

# Code Contracts Library

---

## Contract.EndContractBlock

- ha az előfeltételek if-then-throw formában vannak leírva, akkor ez jelzi, hogy ezek előfeltételek, itt van az ellenőrző blokk vége:

```
if (x == null) throw
 new ArgumentNullException("x");
if (y < 0) throw
 new ArgumentOutOfRangeException(...);
Contract.EndContractBlock();
```

# Code Contracts Library

---

## Contract.ForAll

- Ellenőrző ciklus, contract-on belül használható
- Két paraméteres változat:

```
public int Foo<T>(IEnumerable<T> xs){
 Contract.Requires(
 Contract.ForAll(xs, (T x) => x != null));
}
```

- Első paraméter egy kollekció
- A második egy predikátum
  - ha ez igaz a gyűjtemény minden elemére, akkor igazat ad vissza
  - ha van olyan elem, amire hamis, akkor megáll, és hamisat ad vissza.

# Code Contracts Library

---

- Három paraméteres változat:

```
public int[] Bar(){
 Contract.Ensures(
 Contract.ForAll(0, Contract.Result<int[]>().Length,
 index => Contract.Result<int[]>()[index] > 0));
}
```

- Első paraméter az alsó határ
- A második a felső határ
- A harmadik a predikátum, aminek van egy index argumentuma
  - A két határ között bejárja a predikátumban adott kollekció elemeit, ellenőrzi, hogy igaz-e mindegyikre.

# Code Contracts Library

---

## Contract.Exists

- Ugyanolyan paramétereit vannak, mint a ForAll-nak
- Akkor tér vissza igaz értékkel, ha a kollekció legalább egy elemére teljesül az adott predikátum és hamis értékkel tér vissza, ha egyre sem.

# Code Contracts Library

---

## Interfész contract-ok

- Itt nem írhatunk függvény törzset, ezért egy külön contract osztály kell, amit az interfésszel attribútumok kapcsolnak össze.

```
[ContractClass(typeof(IFooContract))]
interface IFoo {
 int Count { get; }
 void Put(int value);
}
```

# Code Contracts Library

---

Interfész contract-ok

```
[ContractClassFor(typeof(IFoo))]
```

```
abstract class IFooContract : IFoo {
 int IFoo.Count {
 get {
 Contract.Ensures(0 <= Contract.Result<int>());
 return default(int); // dummy return
 // lehet egy exc.-t is dobni itt
 }
 }
 void IFoo.Put(int value){
 Contract.Requires(0 <= value);
 }
}
```

# Code Contracts Library

---

## Absztrakt metódus szerződések

- itt se lehet függvény törzset írni, ezért itt is egy külön contract osztály kell, amit az absztrakt osztállyal attribútumok kapcsolnak össze:

```
[ContractClass(typeof(FooContract))]
abstract class Foo {
 public abstract int Count { get; }
 public abstract void Put(int value);
}
```

# Code Contracts Library

---

Absztrakt metódus szerződések (folyt.):

```
[ContractClassFor(typeof(Foo))]
abstract class FooContract : Foo {
 public override int Count {
 get {
 Contract.Ensures(0 <= Contract.Result<int>());
 return default(int); // dummy return
 }
 }
 public override void Put(int value){
 Contract.Requires(0 <= value);
 }
}
```

# Code Contracts Library

---

## Contract metódusok túlterhelése:

- Mindegyik metódusnak lehet egy string típusú paramétere is.
- Ez kiíródik, ha a feltétel nem teljesül. A string értékének fordítási időben ismertnek kell lennie.

```
Contract.Requires(x != null,
 "If x is null, then the missiles are fired!");
```

# Code Contracts Library

---

## Contract öröklődés

- Egy szerződés a típus altípusára is öröklődik.
- Az altípus előfeltételének gyengébbnek kell lennie ezért, ha az őstípusnál nincs megadva semmilyen előfeltétel, akkor az azt jelent, hogy az azonosan igaz az előfeltétele ezért az altípusokhoz nem lehet előfeltételt írni.
- Az utófeltételnél erősebbet kell / lehet megadni.

---

```
using System;
using System.Diagnostics.Contracts;
namespace ContractExample1 {
 class Rational {
 int numerator, denominator;
 public Rational(int numerator, int denominator) {
 Contract.Requires(denominator != 0);
 this.numerator = numerator;
 this.denominator = denominator;
 }
 public int Denominator {
 get {
 Contract.Ensures(Contract.Result<int>() != 0);
 return this.denominator;
 }
 }
 [ContractInvariantMethod]
 protected void ObjectInvariant () {
 Contract.Invariant (this.denominator != 0);
 }
 }
}
```

# Ada 2012

---

elő- és utófeltételek:

```
procedure Push(S: in out Stack; X: in Item)
 with
 Pre => not Is_Full(S),
 Post => not Is_Empty(S);
```

lehet az eredeti értékre is hivatkozni az utófeltételben:

- $\text{Post} \Rightarrow I = I'_{\text{Old}}$
- $A(I)'_{\text{Old}}$
- $A(I'_{\text{Old}})$

# Ada 2012

---

## Típusinvariáns

```
type Stack is private
 with Type_Invariant => Is_Unduplicated(Stack);
```

```
type Disc_Pt is private
 with Type_Invariant => Check_In(Disc_Pt);
```

# Kérdések

---

Az elő- és utófeltételes specifikációt alkalmazó programozási nyelvekkel kapcsolatos kérdések

- Alprogramoknak megadhatunk-e, és ha igen, milyen formában elő- és utófeltételeket?
- A típushelyesség ellenőrzéséhez megadhatunk-e specifikációs- és típusinvariánst?
- Kezeli-e a specifikációs elő- és utófeltételek és az implementált program elő- és utófeltételeinek különbségét, és így ellenőrzi-e a megfelelés helyességét?
- Vannak-e eszközei a ciklushelyesség ellenőrzéséhez?
- Exception-helyességet támogatja-e? (Exception kezelésnél legalább a típusinvariánst helyre kell állítani.)
- Milyen az öröklődés és az elő- és utófeltételek, valamint a típusinvariáns kapcsolata?