Основни принципи на функционалното програмиране. Езици за функционално програмиране

Два стила на програмиране

В литературата обикновено се говори за съществуването на два основни стила на програмиране:

- процедурен (императивен);
- декларативен (дескриптивен).

В **процедурните езици** програмата се реализира по известната схема

програма = алгоритъм + структури от данни

В основата на програмата при императивното програмиране стои **алгоритъмът.** Той определя последователните етапи на обработката на данните с цел получаване на търсения резултат. Решаването на една задача се свежда до точно описание на това **как** се получава съответният резултат.

При **декларативните езици** за програмиране в програмата явно се посочва какви свойства има желаният резултат (или **какво** е известно за свойствата на предметната област и в частност на резултата), без да се посочва как точно се получава този резултат. С други думи, при декларативните езици се посочва **какво** се пресмята, без да се определя **как** да се пресмята то.

В декларативните езици програмите се изграждат по схемата

програма = списък от дефиниции на функции } при функционалното програмиране

или

списък от равенства

или } при логическото програмиране

факти + правила

Обща характеристика на функционалния стил на програмиране

Функционалното програмиране е начин за съставяне на програми, при който единственото действие е обръщението към функции, единственият начин за разделяне на програмата на части е въвеждането на име на функция и задаването за това име на израз, който пресмята стойността на функцията, а единственото правило за композиция е суперпозицията на функции. Тук под функция се разбира програмна част, която "връща" резултат (по-точно, във функционалното програмиране се работи с т. нар. строги функции, които не предизвикват никакви странични ефекти, а само връщат стойности).

Най-съществени елементи на функционалния стил на програмиране (по-точно, на програмирането във функционален стил) са **дефинирането и използването на функции**. Не се използват никакви клетки от паметта и оператори за присвояване и за цикъл, не се описват действия като предаване на управлението и т.н.

Програмирането във функционален стил се състои от:

- дефиниране на функции, които пресмятат (връщат) стойности. При това тези стойности еднозначно се определят от стойностите на съответните аргументи (фактически параметри);
- прилагане (апликация) на тези функции върху подходящи аргументи, които също могат да бъдат обръщения към функции, тъй като всяка функция връща стойност. Затова езиците за функционално програмиране се наричат още ***апликативни езици***.

Основни **предимства** на функционалния стил на програмиране:

- може да се извършва лесна проверка и поправка на съответните програми поради липсата на странични ефекти;
- подходящ при проектирането на езици за програмиране, предназначени за многопроцесорни компютри, в които много от пресмятанията се извършват паралелно (поради липсата на странични ефекти не се налага програмистът да се грижи за евентуални грешки при синхронизацията, причинени от промени на стойности, извършени в неправилен ред);
- могат да бъдат доказвани точно (с математически средства) свойства на функционалните програми.

Основни **недостатъци** на функционалното програмиране:

- строгата функционалност понякога изисква многократно пресмятане на едни и същи изрази;
- неестествено и често неефективно е използването им при решаване на задачи от процедурен (алгоритмичен) характер.

Теоретичен модел на функционалното програмиране е **λ-смятането**, въведено от Church.

Кратка история

На базата на λ-смятането през 1958-1961 г. J. McCarthy разработва езика за функционално програмиране Lisp. В Lisp програмата е списък от дефиниции на функции. Дефиницията на функция се осъществява с помощта на едно равенство, но чрез използване на множество от примитивни функции.

През 1977 г. M. O'Donnell обосновава математически изчисленията в системи, описани с равенства. O'Donnell ги нарича системи за програмиране с равенства, а също и системи за заместване на поддървета. При тях програмата е съвкупност от равенства от вида $A = B$. Равенствата са ориентирани в смисъл, че B може да замести A, но A не може да замести B. Сред най-популярните езици за програмиране с равенства са HOPE, ML и др.

През 1978 г. J. Backus поставя основите на т. нар. FP-стил на програмиране. FP-програмите са или примитивни форми, или дефиниции, или функционални форми. Backus доказва, че FP-системите имат следните важни свойства:

а) проста формална семантика;

б) ясна йерархична структура на FP-програмите, при която програми от високо ниво могат да се комбинират и да образуват програми от още по-високо ниво;

в) основните FP-форми за комбиниране са операции в съответна алгебра на програми, която може да се използва за трансформиране на програми, за доказване на свойства на програми и др.

Типове езици за функционално програмиране

Най-общо програмата на един функционален език се състои от поредица от уравнения, чрез които се описват някакви функции. Редът, в който са подредени уравненията, не е съществен (за разлика от операторите в програмите на императивните езици). Идеята за функционалност изключва използването на оператори за присвояване и управление (за преход, за цикъл). Поради съображения за ефективност обаче голяма част от използваните в практиката функционални езици съдържат императивни конструкции, които са подобни на операторите за присвояване и операторите за управление.

Функционалните езици могат да се разделят на:

- **строги (чисти) функционални езици** – при тях единствените управляващи структури са функциите. Странични ефекти не се допускат. Такива езици са: Pure Lisp, HOPE, Miranda, Haskell, FP, W и др.;
- **нестроги функционални езици** – те съдържат някои императивни конструкции и допускат използването на нестроги функции. Такива езици са: Common Lisp, Scheme, ML и др.

Основни понятия в програмирането на езика Scheme

Основни сведения за езика Lisp. Диалекти на Lisp. Обща характеристика на езика Scheme

Езикът Lisp (LISP = LISt Processing) е създаден от J. McCarthy в края на 50-те години на 20-ти век (през 1960 г. е публикувано съобщението за езика). Той е интерактивен език за обработка на символни (нечислови) данни, записани в списъчен вид. Lisp може да бъде характеризиран също като функционален език за символни (нечислени) пресмятания (преобразования).

Lisp е най-широко използваният език за програмиране в областта на изкуствения интелект. Причина за това са изброените по-горе особености на езика, както и фактът, че програмите и данните в Lisp имат еднакъв вид, т.е. една програма на Lisp по естествен начин може да бъде третирана като данни за друга програма на Lisp и т.н.

Диалекти на езика Lisp: Lisp 1.5, MacLisp, Franz Lisp, Standard Lisp, Scheme, Common Lisp. Най-новият диалект на Lisp е Common Lisp. Той е утвърден като търговски стандарт за езика Lisp. Scheme е създаден с учебна цел. Той е с по-ограничени възможности и запазва в по-голяма степен и в по-чист вид идеите на функционалното програмиране.

Съвременните ***среди за програмиране на Lisp*** съдържат:

- интерпретатори (често и компилатори) на езика;
- редактори (за Common Lisp те са варианти на редактора Emacs);
- обектно-ориентирани разширения на езика;
- средства за връзка с програми, написани на други езици (Prolog, Ada, Pascal, C и др.).

Изрази

Синтактично изразът е или **атом** (атомарна константа или променлива), или **обръщение към функция**, което има следния вид:

(<означение на функция> <арг$_1$> <арг$_2$> ... <арг$_n$>)

оператор **операнди**

Забележка. В Scheme заедно с термина "функция" като негов синоним се използва и терминът "процедура". Терминът процедура в смисъл на описание на даден изчислителен процес понякога дори се предпочита, тъй като в Scheme, както и в другите съвременни диалекти на езика Lisp, няма изисквания за строга функционалност. В този смисъл терминът функция понякога не е съвсем точен. Затова в по-нататъшното изложение на езика Scheme термините функция и процедура обикновено ще бъдат използвани като синоними.

Примери

```
> 45678                  ; Въведен е примитивен израз - число.
45678                    ; Оценката му съвпада с въведеното число.
> “This is a string.”    ; Въведен е примитивен израз – символен низ.
“This is a string.”      ; Оценката му съвпада с въведения низ.
> +                      ; Въведен е примитивен израз - вградена
#<procedure +>           ; функция (примитивна процедура).
> (+ 137 349)            ; Въведена е комбинация - примитивна
486                      ; процедура (+, -, *, ... ) се прилага върху
> (- 1000 334)           ; числови аргументи.
666
> (* 5 99)
495
(+ 3 5 7)
15
> (/ 10 6)
1.6666666666667
> (+ 2.7 10 2)
14.7
```

Дефиниция. **Комбинация** (обръщение към функция/процедура) се нарича израз, конструиран като списък от изрази, заградени в скоби. Най-левият елемент на списъка се нарича оператор, а останалите - операнди. Стойността (оценката) на комбинацията се получава чрез прилагане (апликация) на процедурата, зададена чрез оператора, към аргументите, които са стойности на операндите.

В езика Lisp (и в частност в Scheme) е възприет **префиксен запис** на изразите. По-съществени предимства на префиксния запис:

- лесно се използват процедури, които имат произволен брой аргументи.

Пример:

```
(+ 2 4 8 7 6)
```

- лесно се записват вложени изрази (всеки от операндите също може да бъде комбинация с достатъчно сложна структура).

Примери:

```
(+ (* 3 5) (- 10 6))
(* (+ 2 (* 2 4)) (+ 3 5 7))
```

Резюме на работата на интерпретатора на Scheme. Интерпретаторът работи в цикъл, като на всяка стъпка от този цикъл извършва следните действия:

- чете израз (Read);
- оценява го (Evaluate);
- отпечатва (извежда) резултата (Print).

Затова често се казва, че интерпретаторът изпълнява REP-цикъл (цикъл Read-Evaluate-Print). Този цикъл се изпълнява автоматично, без за целта да се дават специални указания от страна на потребителя.

Дефиниране на променливи и процедури в езика Scheme

Именуване и среда

Задаването (именуването) на променлива се извършва с помощта на оператора (примитивната процедура) ***define***.

Пример

```
> (define size 2)
size
> size
2
```

Синтаксис. Обръщението към ***define*** в случая на дефиниране (именуване) на променлива изглежда по следния начин:

(define <име> <израз>)

Семантика (механизъм на оценяване). Интерпретаторът свързва името **<име>** със стойността (оценката) на **<израз>** (в горния пример свързва името **size** със стойността **2**). Оценката на обръщението към ***define*** съвпада с името на дефинираната променлива или по-точно, с дефинираното име (дефинирания символ). Както ще покажем по-нататък, ***define*** се използва за дефиниране не само на променливи.

По-нататъшни примери

```
> (* 5 size)
10
> (define pi 3.14159)
pi
> (define radius 10)
radius
> (* pi (* radius radius))
314.159
> (define lngth (* 2 pi radius))
lngth
> lngth
62.8318
```

Изводи

1. ***define*** е първото средство за абстракция, което разглеждаме. ***define*** позволява да се именуват резултати от съставни операции (комбинации), както направихме по-горе при дефиницията на променливата **`lngth`**.

2. С използване на ***define*** е възможно последователно, стъпка по стъпка, да се въвеждат нови дефиниции (свързвания на имена със стойности). Това означава, че интерпретаторът трябва да използва (управлява) специална работна памет, която съдържа наредените двойки от вида (име, стойност). Тази работна памет се нарича ***среда***. По-точно, възможно е в даден момент да съществуват няколко различни среди, една от които е т. нар. **глобална среда**.

Оценяване на комбинациите

Общо правило за оценяване на комбинациите:

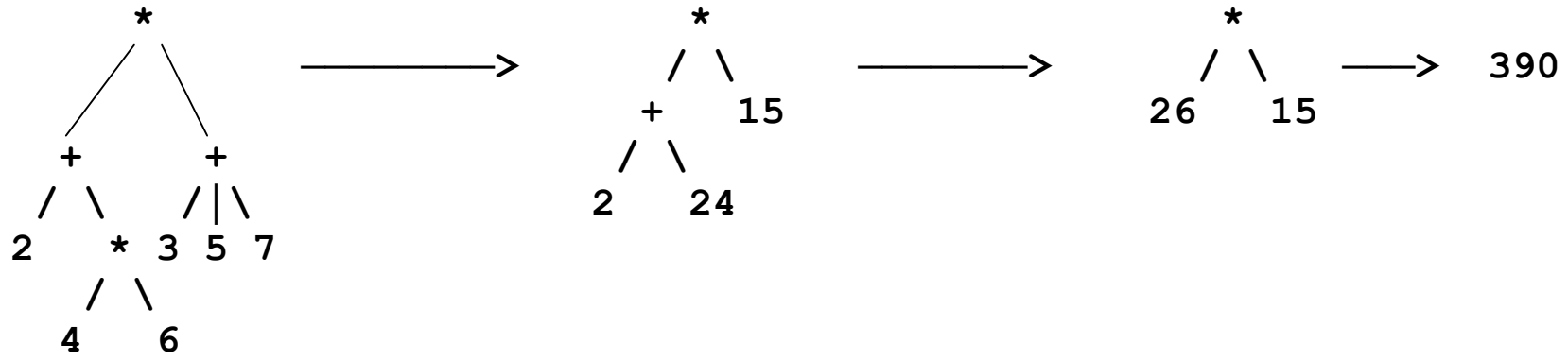
- оценяват се подизразите на комбинацията;
- прилага се процедурата, която е оценка на най-левия подизраз (т.е. операторът), към операндите (аргументите), които са оценки на останалите подизрази.

Пример: оценяването на

```
(* (+ 2 (* 4 6)) (+ 3 5 7))
```

изисква прилагане на общото правило върху четири различни комбинации.

Оценяването на горната комбинация може да бъде представено по следния начин:



Правила за оценяване на числа, низове, имена и вградени оператори:

- оценката на дадено число е самото число;
- оценката на даден низ е самият низ;
- оценката на даден вграден оператор е поредицата от машинни инструкции, които реализират този оператор;
- оценките на останалите имена (в частност, оценките на променливите) са стойностите, свързани с тези имена в текущата среда.

Оценките на вградените оператори (т.е. на примитивните процедури) също могат да се смятат за част от средата.

Вграденият оператор (примитивната процедура) ***define*** е изключение от общото правило за оценяване, което въведохме по-горе. Например, при оценяване на **(define x 3)** не се прилага ***define*** (по-точно, оценката на ***define***) върху оценките на двата операнда (първият операнд изобщо не се оценява), а променливата **x** се свързва със стойността **3** съгласно основното предназначение на ***define*** да свърже даден символ с определена стойност.

Такива вградени оператори, които са изключения от общото правило за оценяване на комбинации (т.е. оценяването на обръщения към които не се извършва по общото правило за оценяване на комбинации), се наричат ***специални форми***.

Следователно, ***define*** е пример за специална форма.

По същество специалните форми определят синтаксиса на езика Lisp, а общото правило за оценяване и правилата за оценяване на специалните форми определят семантиката на езика.

Дефиниране на съставни процедури

Пример. Да се дефинира процедура, която връща като резултат квадрата на дадено число.

Решение

```
(define (square x) (* x x))
```

Анализ. В процеса на оценяване на обръщението към ***define*** името **`square`** се свързва със зададената дефиниция в текущата среда. В случая се казва, че **`square`** е име на **съставна процедура** (**дефинирана функция**).

Общ вид на обръщението към ***define*** в случая на дефиниране на съставна процедура:

(define (<име> <формални параметри>) <тяло>)

Тук:

- **<име>** е символ (идентификатор), който задава името на процедурата;
- **<формални параметри>** са имената, използвани в тялото на дефиницията за означаване на аргументите на процедурата;
- **<тяло>** е поредица от изрази (най-често - един израз).

Оценката на обръщението към ***define*** съвпада с **<име>**. В процеса на оценяване на това обръщение **<име>** се свързва с тялото на дефиницията в текущата среда. По такъв начин **<име>** вече е име на съставна процедура, която е комбинация на други процедури.

Дефинираните (съставните) процедури се използват по същия начин, както и вградените (примитивните) процедури, т.е. дефинираните и вградените процедури са неразличими за интерпретатора (смятат се за записани в средата).

Примери за дефиниране и използване на дефинирани процедури

```
> (square 4)
16
> (square (+ 2 5))
49
> (square (square 3))
81
> (define (sum-of-sq x y)
     (+ (square x) (square y)))
sum-of-sq
```

```
> (sum-of-sq 3 4)
25
> (define (f a)
     (sum-of-sq (+ a 1) (* a 2)))
f
> (f 5)
136
```

Резюме на някои термини в езика Scheme. Съществуват два типа изрази в Scheme: примитивни изрази и съставни изрази. Примитивни изрази са атомите в езика. Съставните изрази са комбинации, т.е. обръщения към функции. Термините функция и процедура често се разглеждат като синоними. Функциите в езика са вградени (наричат се още примитивни процедури) и дефинирани (наричат се още съставни процедури, тъй като представляват комбинации на други процедури).

Оценяване на обръщение към процедура чрез заместване

При оценяване на комбинация, чийто оператор е съставна процедура, интерпретаторът следва същия процес, както при оценяване на комбинация, чийто оператор е примитивна процедура. Същността на този процес е следната. Интерпретаторът оценява елементите на комбинацията и прилага процедурата, която е стойност на оператора на комбинацията, към аргументите, които са стойности на операндите на комбинацията.

Механизмът за прилагане на примитивните процедури към аргументите е вграден за интерпретатора и е част от семантиката на примитивните процедури.

При прилагане на съставна процедура към аргументите се оценява тялото на процедурата, като предварително формалните параметри се заместват със съответните фактически (със съответните аргументи) и след това се следва механизмът на оценяване на комбинация.

Това правило стои в основата на т. нар. ***модел на заместването при оценяване на обръщения към съставни (дефинирани) процедури***. Същността на този модел на оценяване на комбинациите и в частност на обръщенията към съставни процедури е следната:

- при оценяване на комбинация най-напред се оценяват подизразите на тази комбинация, след което оценката на първия подизраз се прилага върху оценките на останалите подизрази (т.е. прилага се общото правило за оценяване на комбинации);

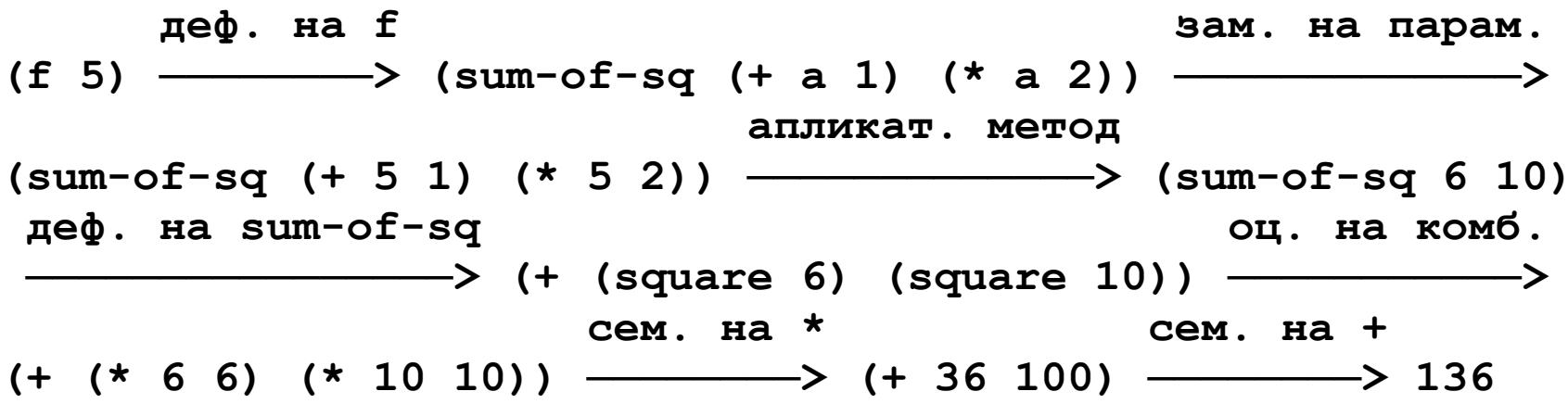
- прилагането на дадена съставна процедура към получените аргументи се извършва, като съгласно горното правило за оценяване на комбинации се оценят последователно изразите от тялото на процедурата, в които формалните параметри са заместени със съответните аргументи (фактически параметри). Оценката на последния израз от тялото става оценка на обръщението към съставната процедура.

Пример

При оценяване на **`(f 5)`** задачата в крайна сметка се свежда до оценяване на **`(sum-of-sq (+ 5 1) (* 5 2))`**, т.е. задачата се свежда до оценяване на комбинация с два операнда и оператор, наречен **`sum-of-sq`**. Следователно, необходимо е да се оцени операторът (за да се получи процедурата, която трябва да се приложи) и да се оценят операндите (за да се получат аргументите). При това, в рамките на вече въведения модел на оценяване чрез заместване са възможни два подхода (метода) за оценяване на тази комбинация: ***"апликативен"*** и ***"нормален"***.

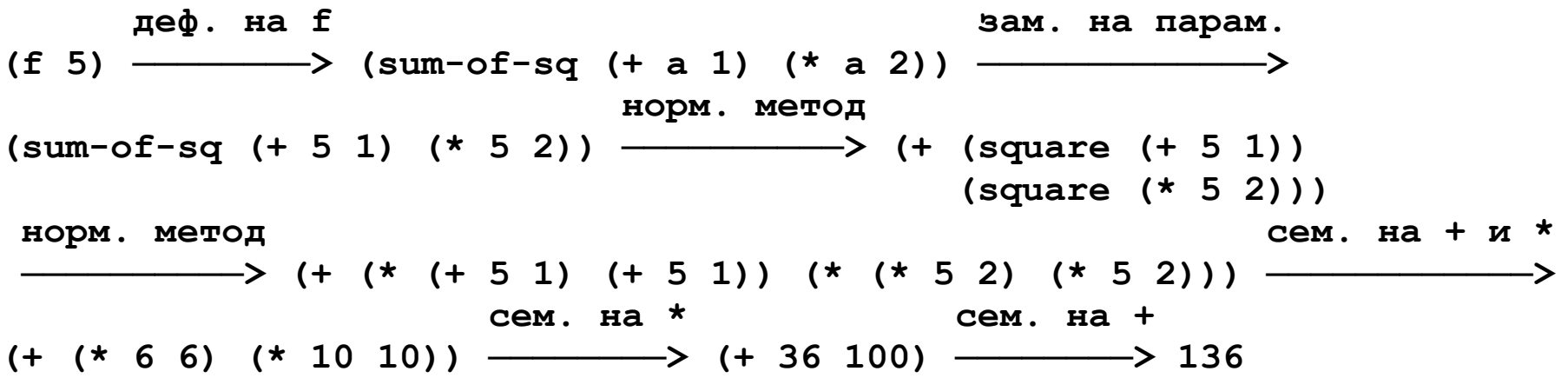
Същност на апликативния подход (метод) на оценяване. Отначало се оценяват операндите (аргументите) и след това към получените оценки се прилага резултатът от оценяването на оператора.

В нашия пример:



Същност на нормалния подход (метод) на оценяване. Замества се името на процедурата с тялото й, докато се получат означения на примитивни процедури, и след това се прилагат техните правила за оценка.

В нашия пример:



Забележки

1) Заместването на формалните параметри със съответните фактически се осъществява в рамките на локална за всяка процедура среда, като в процеса на оценяване всеки символ се заменя с оценката си в тази среда.

2) Оценяването чрез заместване не е валидно при използване на някои оператори (например, на оператора за присвояване).

3) при използване на нормалния подход на оценяване е необходимо да се вземат мерки за избягване на многократното оценяване на един и същ израз.

Кой метод (подход) на оценяване се използва от интерпретаторите на Лисп (Scheme)?

Условни изрази и предикати в езика Scheme

Специална форма cond

Пример. Да се дефинира функция, която пресмята абсолютната стойност на дадено число по правилото:

$$absol(x) = \begin{cases} x, & x>0 \\ 0, & x=0 \\ -x, & x<0 \end{cases}$$

Решение с помощта на условния оператор (специалната форма) ***cond***:

```
(define (absol x)
   (cond ((> x 0) x)
         ((= x 0) 0)
         ((< x 0) (- x)) ))
```

Общ вид на обръщението към ***cond***:

```
(cond (<тест-1> <посл-от-изр-1>)
      (<тест-2> <посл-от-изр-2>)
      . . .
      (<тест-n> <посл-от-изр-n>))
```

Тук:

- **<тест-i>** е предикат, т.е. израз с оценка "истина" (true) или "лъжа" (false). В Scheme за "лъжа" се смятат само константата ***#f*** и означението за празен списък (***nil*** или ***()***), които за интерпретатора са еквивалентни. Всички останали стойности се смятат за представители на логическата стойност "истина";

- **<посл-от-изр-i>** е поредица от изрази, която може да бъде и празна (т.е. да не съдържа нито един елемент).

Семантика (механизъм на оценяване). Последователно се оценяват **<тест-i>**, докато се стигне до (първия) такъв с оценка "истина". След това се оценяват последователно изразите от съответната **<посл-от-изр>** и оценката на последния се връща като оценка на обръщението към ***cond***. Ако няма **<тест>** с оценка "истина", то по стандарт оценката на ***cond*** е неопределена (в повечето реализации е ***()***, ***nil*** или ***#f*** и по този начин отново съвпада с оценката на последния оценен израз). Ако първият срещнат **<тест>** с оценка "истина" няма съответна **<посл-от-изр>**, то оценката на ***cond*** съвпада с оценката на този **<тест>**. Възможно е вместо **<тест-n>** да се запише специалният символ ***else***, чието използване предизвиква безусловно оценяване на **<посл-от-изр-n>**, ако оценката на всички предходни **<тест-i>** е била "лъжа".

Забележка. Аргументите **(<тест-i> <посл-от-изр-i>)** се наричат ***клаузи***.

Специална форма if

Друго решение на примерната задача:

```
(define (absol x)
   (cond ((< x 0) (- x))
         (else x) ))
```

Това решение е еквивалентно на:

```
(define (absol x)
   (if (< x 0) (- x) x))
```

Общ вид на обръщението към ***if***:

`(if <тест> <then-израз> <else-израз>)`

Семантика (механизъм на оценяване). Оценява се **`<тест>`** и ако оценката му е "истина", се оценява **`<then-израз>`** и получената стойност става оценка на обръщението към ***if*** (при това **`<else-израз>`** не се оценява); в противен случай се оценява **`<else-израз>`** (без да се оценява **`<then-израз>`**) и получената стойност става оценка на обръщението към ***if***. Допуска се **`<else-израз>`** да липсва и този случай е еквивалентен на задаване на **`<else-израз>`** с оценка ***#f***, ***()*** или ***nil***.

Примерна програма на езика Scheme, с чиято помощ може да се провери какъв метод на оценяване (апликативен или нормален) е реализиран в използвания интерпретатор.

Нека разгледаме следната система от дефиниции:

```
(define (p) (p))
(define (test x y)
   (if (= x 0)
       0
       y))
```

Интересен в случая е резултатът от оценяването на `(test 0 (p))`:

- ако методът е апликативен, то

`(test 0 (p))` ⟶ `(test 0 (p))` ⟶ `...` (оценяването на обръщението не завършва, тъй като не завършва оценяването на втория аргумент);

- ако методът е нормален, то

`(test 0 (p))` ⟶ `(if (= 0 0) 0 (p))` ⟶ `0`.

Забележка. Вярно е следното твърдение: ако процесът на оценяване завърши, то двата метода дават един и същ резултат.

Функции – предикати в Scheme

По принцип предикат е всяка функция, която връща логическа стойност ("истина" или "лъжа"). В този смисъл всички функции в Scheme могат да се разглеждат като предикати. Тук ще имаме предвид само функции, които извършват сравнения или логически операции.

Примитивни предикати за сравнения

Такива са предикатите: **>**, **=**, **<**, **>=**, **<=**, **<>**. Те са двуаргументни процедури, които оценяват аргументите си (оценките на аргументите трябва да са числа) и връщат стойност ***#t*** точно когато оценките на аргументите удовлетворяват съответното отношение.

Логически функции

Такива са процедурите: ***and*** (конюнкция), ***or*** (дизюнкция), ***not*** (логическо отрицание).

Оператор за конюнкция (***and***): има произволен брой аргументи. Процесът на оценяване на обръщението към ***and*** е следният. Последователно се оценяват аргументите и ако всички аргументи имат стойност "истина", като резултат се връща оценката на последния аргумент. Ако в процеса на оценяване на аргументите се срещне аргумент, чиято оценка е "лъжа", то останалите аргументи не се оценяват и оценката на обръщението към ***and*** е ***#f*** (по-точно, еквивалентното на ***#f*** означение на празния списък ***()***).

Оператор за дизюнкция (***or***) има произволен брой аргументи. Процесът на оценяване на обръщението към ***or*** е следният. Последователно се оценяват аргументите и ако всички аргументи имат стойност "лъжа", оценката на обръщението към ***or*** е ***#f***. Ако в процеса на оценяване на аргументите се срещне аргумент, чиято оценка е "истина", то останалите аргументи не се оценяват и оценката на обръщението към ***or*** съвпада с оценката на последния оценен аргумент.

Следователно, процедурите ***and*** и ***or*** са специални форми.

Оператор за логическо отрицание (***not***): има един аргумент. Аргументът на ***not*** се оценява. Оценката на обръщението към ***not*** е ***#t***, ако оценката на аргумента е "лъжа"; ако оценката на аргумента е "истина", оценката на обръщението към ***not*** е ***#f***.