



Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Отчет по лабораторной работе №4
по дисциплине «Функциональное и логическое
программирование»

Тема Использование управляющих структур, работа со списками

Студент Зайцева А. А.

Группа ИУ7-62Б

Оценка (баллы) _____

Преподаватели Толпинская Н.Б., Строганов Ю. В.

Москва — 2022 г.

Теоретические вопросы

1. Синтаксическая форма и хранение программы в памяти

Программа на Lisp представляет собой вызов функции на верхнем уровне. Все операции над данными оформляются и записываются как функции, которые имеют значение, даже если их основное предназначение – осуществление некоторого побочного эффекта. Программа является ничем иным, как набором запрограммированных функций.

Синтаксически программа оформляется в виде S-выражения (обычно – списка – частного случая точечной пары), которое очень часто может быть структурированным. Наличие скобок является признаком структуры.

По определению:

- S-выражение ::= <атом> | <точечная пара>
- Атомы:
 - символы (идентификаторы) – синтаксически – набор литер (букв и цифр), начинающихся с буквы;
 - специальные символы – T, Nil (используются для обозначения логических констант);
 - самоопределимые атомы – натуральные числа, дробные числа, вещественные числа, строки – последовательность символов, заключенных в двойные апострофы (например, “abc”);
- Точечная пара ::= (<атом> . <атом>) | (<атом> . <точечная пара>) | (<точечная пара> . <атом>) | (<точечная пара> . <точечная пара>);
- Список ::= <пустой список> | <непустой список>, где
 - <пустой список> ::= () | Nil,
 - <непустой список> ::= (<первый элемент> . <хвост>),
 - <первый элемент> ::= <S-выражение>,
 - <хвост> ::= <список>.

Атомы представляются **в памяти** пятью указателями (name, value, function, property, package), а любая непустая структура – списковой ячейкой (бинарным узлом), хранящей два указателя: на голову (первый элемент) и хвост – все остальное.

2. Трактовка элементов списка.

По определению списка, приведенному выше: если список непустой, то он представляет из себя точечную пару из <первого элемента> и <хвоста>, где <первый элемент> – это <S-выражение>, а <хвост> – это <список>.

Список можно вычислить, если он представляет собой обращение к функции, или функциональный вызов: $(f\ e_1\ e_2\ \dots\ e_n)$, где f – символьный атом, имя вызываемой функции; e_1, e_2, \dots, e_n – аргументы этой функции; n – число аргументов функции.

В случае $n=0$ имеем вызов функции без аргументов: (f) . Обычно e_1, e_2, \dots, e_n являются вычислимыми выражениями и вычисляются последовательно слева направо.

Таким образом, если в процессе работы лисп-интерпретатора требуется вычислить некоторый список, то первым элементом этого списка должно быть имя функции. Если это не так, лисп-интерпретатор сообщает об ошибке и прерывает вычисление текущего выражения программы.

3. Порядок реализации программы.

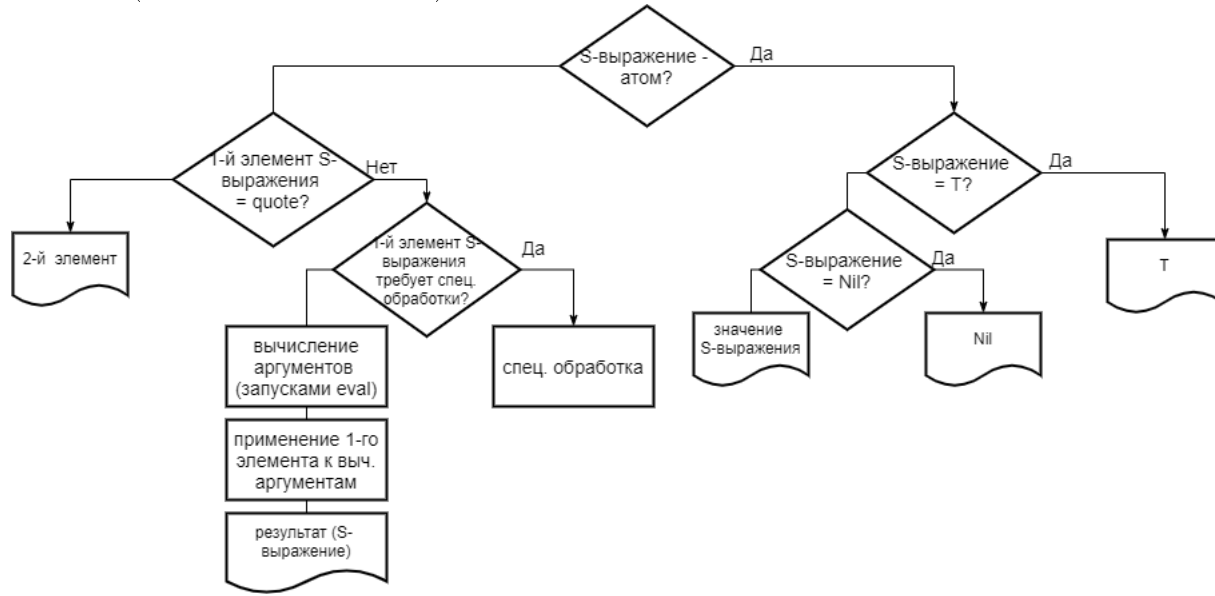
Типичная лисп-программа включает:

- определения новых функций на базе встроенных функций и других функций, определённых в этой программе;
- вызовы этих новых функций для конкретных значений их аргументов.

Как отмечалось выше, программа на Lisp представляет собой вызов функции на верхнем уровне и синтаксически оформляется в виде S-выражения. Вычисление программы реализует лисп-интерпретатор, который считывает очередную входящую в программу форму, вычисляет её (анализирует функцией `eval`) и выводит полученный результат (S-выражение).

`Eval` выполняет двойное вычисление своего аргумента. Эта функция является обычной, и первое вычисление аргумента выполняет так же, как и любая обычная функция. Полученное при этом выражение вычисляется ещё раз. Такое двойное вычисление может понадобиться либо для снятия блокировки вычислений (установленной функцией `quote`), либо же для вычисления сформированного в ходе первого вычисления нового функционального вызова.

Вызов (eval S-выражение):



4. Способы определения функции

Функцией называется правило, по которому каждому значению одного или нескольких аргументов ставится в соответствие конкретное значение результата.

Функционалом, или функцией высшего порядка называется функция, аргументом или результатом которой является другая функция.

Форма – функция, которая особым образом обрабатывает свои аргументы, т. е. требует специальной обработки.

Определение функций пользователя в Lisp-е возможно двумя способами.

- Базисный способ определения функции - использование λ -выражения (λ -нотации). Так создаются функции без имени.

λ -выражение: (lambda λ -список форма), где λ -список – это формальные параметры функции (список аргументов), а форма – это тело функции.

Вызов такой функции осуществляется следующим способом: (λ -выражение последовательность_форм), где последовательность_форм – это фактические параметры.

Вычисление функций без имени может быть также выполнено с использованием функционала apply: (apply λ -выражение последовательность_форм), где последовательность_форм – это список фактических параметров; или с использованием функционала funcall: (funcall λ -выражение последовательность_форм), где последовательность_форм – это фактические параметры.

Функционал `apply` является обычной функцией с двумя вычисляемыми аргументами, обращение к ней имеет вид: `(apply F L)`, где `F` – функциональный аргумент и `L` – список, рассматриваемый как список фактических параметров для `F`. Значение функционала – результат применения `F` к этим фактическим параметрам.

Функционал `funcall` – особая функция с вычисляемыми аргументами, обращение к ней: `(funcall F e1 ... en)`, $n \geq 0$. Её действие аналогично `apply`, отличие состоит в том, что аргументы применяемой функции `F` задаются не списком, а по отдельности.

`funcall` используется тогда, когда во время написания кода количество аргументов известно, `apply` – когда неизвестно.

- Другой способ определения функции – использование макро-определения `defun`:

`(defun имя_функции λ -выражение),`

или в облегченной форме:

`(defun имя_функции (x_1, x_2, \dots, x_k) форма),` где `(x_1, x_2, \dots, x_k)` – это список аргументов.

В качестве имени функции выступает символьный атом. Вызов именованной функции осуществляется следующим образом: `(имя_функции последовательность_форм)`, где `последовательность_форм` – это фактические параметры. Также для ее вызова можно воспользоваться рассмотренными выше функционалами `funcall` (например, `(foo 1 2 3) === (funcall #'foo 1 2 3)`) и `apply` (например, `(apply #'plot plot-data)`, где `plot-data` – список, хранящий аргументы).

λ -определение более эффективно, особенно при повторных вычислениях.

Параметры функции, переданные при вызове, будут связаны с переменными в списке параметров из объявления функции. Еще один способ связывания формальных параметров с фактическими – использование функции `let`:

`(let ((x_1 p_1) (x_2 p_2) ... (x_k p_k)) e),`

где x_i – формальные параметры, p_i – фактические параметры (могут быть формами), `e` – форма (что делать).

Из указаний к выполнению работы

cond

Общий вид условного выражения:

$(cond (p_1 e_{11} e_{12} \dots e_{1m_1}) (p_2 e_{21} e_{22} \dots e_{2m_2}) \dots (p_n e_{n1} e_{n2} \dots e_{nm_n})), m_i \geq 0, n \geq 1$

Вычисление условного выражения общего вида выполняется по следующим правилам:

1. последовательно вычисляются условия p_1, p_2, \dots, p_n ветвей выражения до тех пор, пока не встретится выражение p_i , значение которого отлично от NIL;
2. последовательно вычисляются выражения-формы $e_{i1} e_{i2} \dots e_{im_i}$ соответствующей ветви, и значение последнего выражения e_{im_i} возвращается в качестве значения функции cond;
3. если все условия p_i имеют значение NIL, то значением условного выражения становится NIL.

Ветвь условного выражения может иметь вид (p_i) , когда $m_i = 0$. Тогда если значение $p_i \neq \text{NIL}$, значением условного выражения cond становится значение p_i .

В случае, когда $p_i \neq \text{NIL}$ и $m_i \geq 2$, то есть ветвь cond содержит более одного выражения e_i , эти выражения вычисляются последовательно, и результатом cond служит значение последнего из них e_{im_i} . Таким образом, в дальнейших вычислениях может быть использовано только значение последнего выражения, и при строго функциональном программировании случай $m_i \geq 2$ обычно не возникает, т.к. значения предшествующих e_{im_i} выражений пропадают.

if

Макрофункция (If C E1 E2), встроенная в MuLisp и Common Lisp, вычисляет значение выражения E1, если значение выражения C отлично от NIL, в ином случае она вычисляет значение E2:

```
(defmacro If (C E1 E2) (list 'cond (list C E1) (list T E2)))
```

Этот макрос строит и вычисляет условное выражение cond, в котором в качестве условия первой ветви берётся выражение C (первый аргумент If), а выражения E1 и E2 (второй и третий аргумент If) размещаются соответственно на первой и второй ветви cond.

and/or/not

К логическим функциям-предикатам относят логическое отрицание not, конъюнкцию and и дизъюнкцию or. Первая из этих функций является обычной, а

другие две – особыми, поскольку допускают произвольное количество аргументов, которые не всегда вычисляются.

Логическое отрицание `not` вырабатывает соответственно: $(\text{not NIL}) \Rightarrow T$ и $(\text{not } T) \Rightarrow \text{NIL}$, и может быть определено функцией $(\text{defun not } (x) (\text{eq } x \text{ NIL}))$.

Вызов функции `and`, реализующей конъюнкцию, имеет вид $(\text{and } e_1 e_2 \dots e_n)$, $n \geq 0$.

При вычислении этого функционального обращения последовательно слева направо вычисляются аргументы функции e_i – до тех пор, пока не встретится значение, равное `NIL`. В этом случае вычисление прерывается и значение функции равно `NIL`. Если же были вычислены все значения e_i и оказалось, что все они отличны от `NIL`, то результирующим значением функции `and` будет значение последнего выражения e_n .

Вызов функции-дизъюнкции имеет вид $(\text{or } e_1 e_2 \dots e_n)$, $n \geq 0$.

При выполнении вызова последовательно вычисляются аргументы e_i (слева направо) – до тех пор, пока не встретится значение e_i , отличное от `NIL`. В этом случае вычисление прерывается и значение функции равно значению этого e_i . Если же вычислены значения всех аргументов e_i , и оказалось, что они равны `NIL`, то результирующее значение функции равно `NIL`.

При $n=0$ значения функций: $(\text{and}) \Rightarrow T$, $(\text{or}) \Rightarrow \text{NIL}$.

Таким образом, значение функции `and` и `or` не обязательно равно `T` или `NIL`, а может быть произвольным атомом или списочным выражением.

remove принимает 2 аргумента и возвращает список, заданный вторым аргументом, из которого удалены все вхождения значения первого аргумента.

substitute принимает 3 аргумента и возвращает список, заданный третьим аргументом, в котором все вхождения значения второго аргумента заменены на значение первого аргумента.

Остальные функции будут рассмотрены по ходу выполнения работы.

Практические задания

1. Чем принципиально отличаются функции `cons`, `list`, `append`?

`cons` принимает 2 указателя на любые S-выражения и возвращает новую `cons`-ячейку (списковую ячейку), содержащую 2 значения. Если второе значение не `NIL` и не другая `cons`-ячейка, то ячейка печатается как два значения в скобках, разделённые точкой (так называемая точечная пара). Иначе, по сути, эта функция включает значение первого аргумента в начало списка, являющегося значением второго аргумента.

Функция `list`, составляющая список из значений своих аргументов (у которого голова – это первый аргумент, хвост – все остальные аргументы), создает столько списковых ячеек, сколько аргументов ей было передано. Эта функция относится к особым, поскольку у неё может быть произвольное число аргументов, но при этом все аргументы вычисляются.

`append` принимает произвольное количество аргументов-списков и соединяет (сливает) элементы верхнего уровня всех списков в один список. Действие `append` иногда называют конкатенацией списков. В результате должен быть построен новый список.

Например: `(append (list 1 2) (list 3 4)) ==> (1 2 3 4)`.

С точки зрения функционального подхода, задача функции `append` - вернуть список `(1 2 3 4)` не изменяя ни одну из `cons`-ячеек в списках-аргументах `(1 2)` и `(3 4)`. `append` на самом деле создаёт только две новые `cons`-ячейки, чтобы хранить значения 1 и 2, соединяя их вместе и делая ссылку из `CDR` второй ячейки на первый элемент последнего аргумента - списка `(3 4)`. После этого функция возвращает `cons`-ячейку содержащую 1. Ни одна из входных `cons`-ячеек не была изменена, и результатом, как и требовалось, является список `(1 2 3 4)`. Единственная хитрость в том, что результат, возвращаемый функцией `append` имеет общие `cons`-ячейки со списком `(3 4)`. Таким образом, если последний переданный список будет модифицирован, то итоговый список будет также изменен.

Итак, отличия: `cons` является базисной, `list` и `append` – нет; `list` и `append` принимают произвольное количество аргументов (причем аргументами `append` могут быть только списки), `cons` – фиксированное (два); `cons` создает точечную пару или список (в зависимости от второго аргумента), `list` и `append` – список; `cons` и `list` создают новые списковые ячейки (все), а `append` имеет общие списковые ячейки с последним списком.

`list` и `append` определяются с помощью `cons`.

Пусть (setf lst1 '(a b)); (setf lst2 '(c d))

Каковы результаты вычисления следующих выражений?

```
1 (cons lst1 lst2) => ((A B) C D)
2 (list lst1 lst2) => ((A B) (C D))
3 (append lst1 lst2) => (A B C D)
```

2. Каковы результаты вычисления следующих выражений, и почему?

reverse переворачивает свой список-аргумент, т.е. меняет порядок его элементов верхнего уровня на противоположный, например: (reverse '(A (B D) C)) => (C (B D) A). reverse является примером рекурсии, определение может быть следующим [1]:

```
1 (defun Reverse (L)
2   (cond ((null L) NIL)
3         (T (append (Reverse (cdr L))
4                     (cons (car L) NIL) ))))
```

В этом определении реализована следующая идея рекурсивного построения требуемого списка: он получается из перевернутого хвоста исходного списка присоединением к нему справа первого элемента.

last возвращает последнюю cons-ячейку в списке. Если вызывается с целочисленным аргументом n, возвращает n ячеек (то есть по умолчанию n=1). Если n больше или равно количеству cons-ячеек в списке, результатом будет исходный список.

```
1 ; первая ветвь cond из определения reverse
2 (reverse ()) => Nil
3 ; передан пустой список (то есть список длины 0), а n=1 по умолчанию.
4 ; 0 < 1 => результатом будет исходный список
5 (last ()) => Nil
6 ; при первом вызове reverse по второй ветви cond произойдет слияние:
7 ; - результата вызова reverse для хвоста исходного списка (пустого списка);
8 ; - списка из первого элемента исходного списка (списка (a)).
9 (reverse '(a)) => (A)
10 ; по умолчанию n=1, поэтому результат - список из одной последней ячейки
11 ; исходного списка (то есть список из символического атома a)
12 (last '(a)) => (A)
13 ; для следующих двух вызовов объяснения аналогичны приведенным двум выше
14 ; с учетом того, что reverse и last работают с элементами верхнего уровня
15 (reverse '((a b c))) => ((A B C))
16 (last '((a b c))) => ((A B C))
```

3. Написать, по крайней мере, два варианта функции, которая возвращает последний элемент своего списка-аргумента.

Первый элемент перевернутого списка:

```
1 (defun f3_reverse (lst) (  
2   car (reverse lst)  
3 ))  
4  
5 (f3_reverse '(1 2 (3 4)) => (3 4))
```

Рекурсивно:

```
1 (defun f3_recursive (lst) (  
2   if (null (cdr lst))  
3     (car lst)  
4     (f3_recursive (cdr lst))  
5 ))  
6  
7 (f3_recursive '(1 2 (3 4))) => (3 4)
```

4. Написать, по крайней мере, два варианта функции, которая возвращает свой список-аргумент без последнего элемента.

Перевернутый хвост перевернутого списка:

```
1 (defun f4_reverse (lst) (  
2   reverse (cdr (reverse lst))  
3 ))  
4  
5 (f4_reverse '((0 1) 2 (3 4))) => ((0 1) 2)
```

Рекурсивно:

```
1 (defun f4_recursive (lst) (  
2   if (null (cdr lst))  
3     Nil  
4     (cons (car lst) (f4_recursive (cdr lst)))  
5 ))  
6  
7 (f4_recursive '((0 1) 2 (3 4))) => ((0 1) 2)
```

5. Написать простой вариант игры в кости, в котором бросаются две правильные кости.

Если сумма выпавших очков равна 7 или 11 – выигрыш, если выпало (1,1) или (6,6) – игрок получает право снова бросить кости, во всех остальных случаях ход переходит ко второму игроку, но запоминается сумма выпавших очков. Если второй игрок не выигрывает абсолютно, то выигрывает тот игрок, у которого больше очков. Результат игры и значения выпавших костей выводить на экран с помощью функции print.

(символ апостроф, написанный перед словом на русском языке, ошибочно переносится после этого слова)

```
1 (defun roll_dice () (+ (random 6) 1))
2
3 (defun check_continue_game (result) (
4   not (or (= result 7) (= result 11)))
5 )
6
7 (defun make_a_move (player_i)
8   (let ((dice1 (roll_dice)) (dice2 (roll_dice)))
9     (if (and (print (list Игрок' player_i бросает' кости')) (= dice1 dice2)
10      (or (= dice1 1) (= dice1 6)))
11       (and
12         (print (list Выпало' dice1 dice2 Повторный ' бросок'))
13         (make_a_move player_i)
14       )
15       (and
16         (print (list Выпало' dice1 dice2))
17         (+ dice1 dice2)
18       )
19     )
20 )
21 (defun compare_results (res1 res2)
22   (if (check_continue_game res2)
23     (and
24       (print (list Сравнение' по' очкам'))
25       (print (list Игрок' 1 набрал' res1))
26       (print (list Игрок' 2 набрал' res2))
27       (cond
28         ((< res1 res2) (and (print (list Игрок' 2 выиграл' по' очкам')) 2))
29         ((> res1 res2) (and (print (list Игрок' 1 выиграл' по' очкам')) 1))
30         ((and (print Ничья'()) 0))
31       )
32     )
33   (and (print (list Игрок' 2 набрал' res2 очков' и' выиграл' абсолютно'))
```

```

34         2)
35     )
36
37 (defun play_game ()
38     (let ((res1 (make_a_move 1)))
39         (if (check_continue_game res1)
40             (compare_results res1 (make_a_move 2))
41             (and (print (list Игрок ' 1 набрал ' res1 очков ' и ' выиграл '
42                         абсолютно ')) 1)
43         )
44     )

```

Литература

- [1] Большакова Елена Игоревна Груздева Надежда Валерьевна. Основы программирования на языке Лисп. М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова (лицензия ИД № 05899 от 24.09.2001); МАКС Пресс, 2010. с. 112.