

Структури от данни в Scheme

матрици, дървета, асоциативни списъци, графи

Трифон Трифонов

Функционално програмиране, 2018/19 г.

7 ноември 2018 г.

Представяне на матрици

Можем да представим матрица като списък от списък от елементи:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} \quad ((1\ 2\ 3)\ (4\ 5\ 6))$$

Представяне на матрици

Можем да представим матрица като списък от списък от елементи:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} \quad ((1\ 2\ 3)\ (4\ 5\ 6))$$

Проверка за коректност:

Представяне на матрици

Можем да представим матрица като списък от списък от елементи:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} \quad ((1\ 2\ 3)\ (4\ 5\ 6))$$

Проверка за коректност:

```
(define (all p? l)
  (foldr (lambda (x y) (and x y)) #t (map p? l)))

(define (matrix? m)
  (and (list? m)
        (not (null? (car m)))
        (all list? m)
        (all (lambda (row) (= (length row)
                               (length (car m)))) m)))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define (get-rows m) (length m))  
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
```

```
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
```

```
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

```
(define (get-first-row m) (car m))
(define (get-first-column m) (map car m))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

```
(define get-first-row car)
(define (get-first-column m) (map car m))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

```
(define get-first-row car)
(define (get-first-column m) (map car m))
```

Изтриване на първи ред и стълб

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

```
(define get-first-row car)
(define (get-first-column m) (map car m))
```

Изтриване на първи ред и стълб

```
(define (del-first-row m) (cdr m))
(define (del-first-column m) (map cdr m))
```

Базови операции

Брой редове и стълбове

```
(define get-rows length)
(define (get-columns m) (length (car m)))
```

Намиране на първи ред и стълб

```
(define get-first-row car)
(define (get-first-column m) (map car m))
```

Изтриване на първи ред и стълб

```
(define del-first-row cdr)
(define (del-first-column m) (map cdr m))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))  
(define (get-column i m)  
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))  
(define (get-column i m)  
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране


$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 5 \\ 3 & 6 \end{pmatrix}$$

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))  
(define (get-column i m)  
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)  
  (if (null? (get-first-row m)) '()  
      (cons (get-first-col m)  
            (transpose (del-first-col m))))))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))
(define (get-column i m)
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)
  (if (null? (get-first-row m)) '()
      (cons (get-first-col m)
            (transpose (del-first-col m))))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)
  (accumulate ? ? ? ?
              ? ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))
(define (get-column i m)
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)
  (if (null? (get-first-row m)) '()
      (cons (get-first-col m)
            (transpose (del-first-col m)))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)
  (accumulate cons ? ? ?
              ? ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))  
(define (get-column i m)  
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)  
  (if (null? (get-first-row m)) '()  
      (cons (get-first-col m)  
            (transpose (del-first-col m))))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)  
  (accumulate cons '() ? ?  
              ? ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))
(define (get-column i m)
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)
  (if (null? (get-first-row m)) '()
      (cons (get-first-col m)
            (transpose (del-first-col m))))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)
  (accumulate cons '() 0 ?
              ? ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))
(define (get-column i m)
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)
  (if (null? (get-first-row m)) '()
      (cons (get-first-col m)
            (transpose (del-first-col m)))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)
  (accumulate cons '() 0 (- (get-columns m) 1)
              ? ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))
(define (get-column i m)
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)
  (if (null? (get-first-row m)) '()
      (cons (get-first-col m)
            (transpose (del-first-col m)))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)
  (accumulate cons '() 0 (- (get-columns m) 1)
              (lambda (i) (get-column i m)) ?))
```

Разширени операции

Намиране на ред и стълб по индекс

```
(define (get-row i m) (list-ref m i))  
(define (get-column i m)  
  (map (lambda (row) (list-ref row i)) m))
```

Транспониране

Вариант 1 (директна рекурсия):

```
(define (transpose m)  
  (if (null? (get-first-row m)) '()  
      (cons (get-first-col m)  
            (transpose (del-first-col m))))))
```

Вариант 2 (accumulate):

```
(define (transpose m)  
  (accumulate cons '() 0 (- (get-columns m) 1)  
              (lambda (i) (get-column i m)) 1+))
```


Аритметични операции

Събиране на матрици

Аритметични операции

Събиране на матрици

```
(define (sum-vectors v1 v2) (map + v1 v2))
```

```
(define (sum-matrices m1 m2) (map sum-vectors m1 m2))
```

$$\left(\begin{array}{c} \longrightarrow \\ \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{c} \downarrow \\ \end{array} \right)$$

$$m \times n \quad n \times k$$

$$C_{ij} = \sum_{e=1}^n a_{ie} b_{ej}$$

$$1 \leq i \leq m$$

$$1 \leq j \leq k$$

Аритметични операции

Събиране на матрици

```
(define (sum-vectors v1 v2) (map + v1 v2))  
(define (sum-matrices m1 m2) (map sum-vectors m1 m2))
```

Умножение на матрици

Аритметични операции

Събиране на матрици

```
(define (sum-vectors v1 v2) (map + v1 v2))  
(define (sum-matrices m1 m2) (map sum-vectors m1 m2))
```

Умножение на матрици ($c_{i,j} = \vec{a}_i \cdot \vec{b}_j^T = \sum_{k=0}^n A_{i,k} B_{k,j}$)

Аритметични операции

Събиране на матрици

```
(define (sum-vectors v1 v2) (map + v1 v2))  
(define (sum-matrices m1 m2) (map sum-vectors m1 m2))
```

Умножение на матрици $(c_{i,j} = \vec{a}_i \cdot \vec{b}_j^T = \sum_{k=0}^n A_{i,k} B_{k,j})$

```
(define (mult-vectors v1 v2) (apply + (map * v1 v2)))
```

Аритметични операции

Събиране на матрици

```
(define (sum-vectors v1 v2) (map + v1 v2))
(define (sum-matrices m1 m2) (map sum-vectors m1 m2))
```

Умножение на матрици $(c_{i,j} = \vec{a}_i \cdot \vec{b}_j^T = \sum_{k=0}^n A_{i,k} B_{k,j})$

```
(define (mult-vectors v1 v2) (apply + (map * v1 v2)))
(define (mult-matrices m1 m2)
  (let ((m2t (transpose m2)))
    (map (lambda (row)
          (map (lambda (column) (mult-vectors row column))
              m2t))
         m1)))
```

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено
- предимства:

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено
- предимства:
 - програмите работят на по-високо концептуално ниво със СД

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено
- предимства:
 - програмите работят на по-високо концептуално ниво със СД
 - позволява алтернативни имплементации на дадена СД, подходящи за различни видове задачи

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено
- предимства:
 - програмите работят на по-високо концептуално ниво със СД
 - позволява алтернативни имплементации на дадена СД, подходящи за различни видове задачи
 - влиянието на промени по представянето е ограничено до операциите, които “знаят” за него

Абстракция със структури от данни

Дефиниция (Абстракция)

Принцип за разделянето (“абстрахирането”) на *представянето* на дадена структура от данни (СД) от нейното *използване*.

- основен принцип на обектно-ориентираното програмиране
- позволява използването на СД преди представянето ѝ да е уточнено
- предимства:
 - програмите работят на по-високо концептуално ниво със СД
 - позволява алтернативни имплементации на дадена СД, подходящи за различни видове задачи
 - влиянието на промени по представянето е ограничено до операциите, които “знаят” за него
 - подобрения при представянето автоматично се разпространяват до по-горните нива на абстракция

Пример: рационално число

- Логическо описание: обикновена дроб

Пример: рационално число

- Логическо описание: обикновена дроб
- Физическо представяне: наредена двойка от цели числа

Пример: рационално число

- Логическо описание: обикновена дроб
- Физическо представяне: наредена двойка от цели числа
- Базови операции:
 - конструиране на рационално число
 - получаване на числител
 - получаване на знаменател

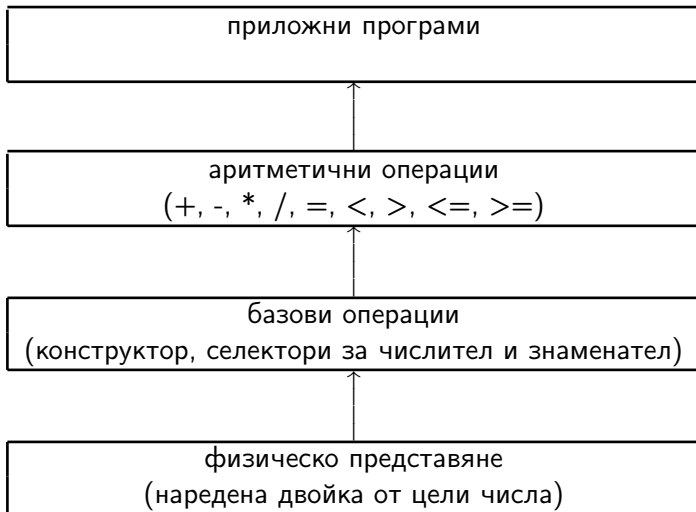
Пример: рационално число

- Логическо описание: обикновена дроб
- Физическо представяне: наредена двойка от цели числа
- Базови операции:
 - конструиране на рационално число
 - получаване на числител
 - получаване на знаменател
- Аритметични операции:
 - събиране, изваждане
 - умножение, деление
 - сравнение

Пример: рационално число

- Логическо описание: обикновена дроб
- Физическо представяне: наредена двойка от цели числа
- Базови операции:
 - конструиране на рационално число
 - получаване на числител
 - получаване на знаменател
- Аритметични операции:
 - събиране, изваждане
 - умножение, деление
 - сравнение
- Приложни програми

Нива на абстракция



Рационални числа

Физическо представяне



Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define (make-rat n d) (cons n d))`

Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define make-rat cons)`

Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define make-rat cons)`
- `(define (get-numer r) (car r))`

Рационални числа

Физическо представяне

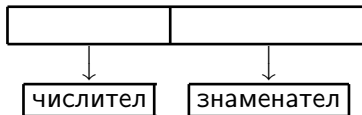


Базови операции

- `(define make-rat cons)`
- `(define get-numer car)`

Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define make-rat cons)`
- `(define get-numer car)`
- `(define (get-denom r) (cdr r))`

Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define make-rat cons)`
- `(define get-numer car)`
- `(define get-denom cdr)`

Рационални числа

Физическо представяне



Базови операции

- `(define make-rat cons)`
- `(define get-numer car)`
- `(define get-denom cdr)`

По-добре:

```
(define (make-rat n d)
  (if (= d 0) (cons n 1) (cons n d)))
```

Аритметични операции

$$\frac{n_1}{d_1} \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 n_2}{d_1 d_2}$$

```
(define (*rat p q)
  (make-rat (* (get-numer p) (get-numer q))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

Аритметични операции

$$\frac{n_1}{d_1} \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 n_2}{d_1 d_2}$$

```
(define (*rat p q)
  (make-rat (* (get-numer p) (get-numer q))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

$$\frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 d_2 + n_2 d_1}{d_1 d_2}$$

```
(define (+rat p q)
  (make-rat (+ (* (get-numer p)
                  (get-denom q))
              (* (get-numer q)
                  (get-denom p)))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

Аритметични операции

$$\frac{n_1}{d_1} \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 n_2}{d_1 d_2}$$

```
(define (*rat p q)
  (make-rat (* (get-numer p) (get-numer q))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

$$\frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 d_2 + n_2 d_1}{d_1 d_2}$$

```
(define (+rat p q)
  (make-rat (+ (* (get-numer p)
                  (get-denom q))
              (* (get-numer q)
                  (get-denom p)))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

$$\frac{n_1}{d_1} < \frac{n_2}{d_2} \leftrightarrow n_1 d_2 < n_2 d_1$$

```
(define (<rat p q)
  (< (* (get-numer p) (get-denom q))
     (* (get-numer q) (get-denom p))))
```

Програми с рационални числа

$$\sum_{i=0}^n \frac{x^i}{i!}$$

```
(define (my-exp x n)
  (accumulate ? ? 0 n
              ? 1+))
```


Програми с рационални числа

$$\sum_{i=0}^n \frac{x^i}{i!}$$

```
(define (my-exp x n)
  (accumulate +rat ? 0 n
              ? 1+))
```

Програми с рационални числа

$$\sum_{i=0}^n \frac{x^i}{i!}$$

```
(define (my-exp x n)
  (accumulate +rat (make-rat 0 1) 0 n
    ? 1+))
```

Програми с рационални числа

$$\sum_{i=0}^n \frac{x^i}{i!}$$

```
(define (my-exp x n)
  (accumulate +rat (make-rat 0 1) 0 n
    (lambda (i) (make-rat (pow x i) (fact i)))) 1+))
```

Нормализация

Проблем: Числителят и знаменателят стават много големи!

Нормализация

Проблем: Числителят и знаменателят стават много големи!

Проблем: `(<rat (make-rat 1 2) (make-rat 1 -2))` \rightarrow `#t`

Аритметични операции

$$\frac{n_1}{d_1} \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 n_2}{d_1 d_2}$$

```
(define (*rat p q)
  (make-rat (* (get-numer p) (get-numer q))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

$$\frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} = \frac{n_1 d_2 + n_2 d_1}{d_1 d_2}$$

```
(define (+rat p q)
  (make-rat (+ (* (get-numer p)
                  (get-denom q))
              (* (get-numer q)
                  (get-denom p)))
            (* (get-denom p) (get-denom q))))
```

$$\frac{n_1}{d_1} < \frac{n_2}{d_2} \iff n_1 d_2 < n_2 d_1$$

```
(define (<rat p q)
  (< (* (get-numer p) (get-denom q))
     (* (get-numer q) (get-denom p))))
```

Нормализация

Проблем: Числителят и знаменателят стават много големи!

Проблем: `(<rat (make-rat 1 2) (make-rat 1 -2))` \longrightarrow `#t`

Идея: Да работим с *нормализирани* дроби $\frac{p}{q}$, където $p \in \mathbb{Z}$, $q \in \mathbb{N}^+$ и $\gcd(p, q) = 1$.

Нормализация

Проблем: Числителят и знаменателят стават много големи!

Проблем: `(<rat (make-rat 1 2) (make-rat 1 -2))` \longrightarrow `#t`

Идея: Да работим с *нормализирани* дроби $\frac{p}{q}$, където $p \in \mathbb{Z}$, $q \in \mathbb{N}^+$ и $\text{gcd}(p, q) = 1$.

```
(define (make-rat n d)
  (if (or (= d 0) (= n 0)) (cons 0 1)
      (let* ((g (gcd n d))
              (ng (quotient n g))
              (dg (quotient d g)))
        (if (> dg 0) (cons ng dg)
            (cons (- ng) (- dg))))))
```


Нормализация

Проблем: Числителят и знаменателят стават много големи!

Проблем: `(<rat (make-rat 1 2) (make-rat 1 -2))` \longrightarrow `#t`

Идея: Да работим с *нормализирани* дроби $\frac{p}{q}$, където $p \in \mathbb{Z}$, $q \in \mathbb{N}^+$ и $\gcd(p, q) = 1$.

```
(define (make-rat n d)
  (if (or (= d 0) (= n 0)) (cons 0 1)
      (let* ((g (gcd n d))
              (ng (quotient n g))
              (dg (quotient d g)))
        (if (> dg 0) (cons ng dg)
            (cons (- ng) (- dg))))))
```

Не е нужно да правим каквито и да е други промени!

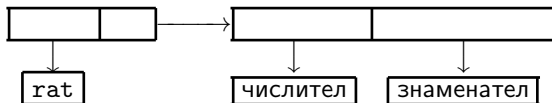
Сигнатура

Проблем: Не можем да различим СД с еднакви представяния!
(рационално число, комплексно число, точка в равнината)

Сигнатура

Проблем: Не можем да различим СД с еднакви представяния!
(рационално число, комплексно число, точка в равнината)

Идея: Да добавим "етикет" на обекта



Сигнатура

Проблем: Не можем да различим СД с еднакви представяния!
(рационално число, комплексно число, точка в равнината)

Идея: Да добавим “етикет” на обекта



```
(define (make-rat n d)
  (cons 'rat
        (if (or (= d 0) (= n 0)) (cons 0 1)
            (let* ((g (gcd n d))
                   (ng (quotient n g))
                   (dg (quotient d g)))
              (if (> dg 0) (cons ng dg)
                  (cons (- ng) (- dg)))))))

(define get-numer cadr)
(define get-denom caddr)
```

Проверка за коректност

Вече можем да проверим дали даден обект е рационално число:

```
(define (rat? p)
  (and (pair? p) (eqv? (car p) 'rat)
        (pair? (cdr p))
        (integer? (cadr p)) (positive? (caddr p))
        (= (gcd (cadr p) (caddr p)) 1)))
```

Проверка за коректност

Вече можем да проверим дали даден обект е рационално число:

```
(define (rat? p)
  (and (pair? p) (eqv? (car p) 'rat)
       (pair? (cdr p))
       (integer? (cadr p)) (positive? (caddr p))
       (= (gcd (cadr p) (caddr p)) 1)))
```

Можем да добавим проверка за коректност:

```
(define (check-rat f)
  (lambda (p)
    (if (rat? p) (f p) 'error)))

(define get-numer (check-rat cadr))
(define get-denom (check-rat caddr))
```

Капсулация на базови операции

Проблем: операциите над СД са видими глобално

Капсулация на базови операции

Проблем: операциите над СД са видими глобално

Идея: да ги направим “private”

Капсулация на базови операции

Проблем: операциите над СД са видими глобално

Идея: да ги направим “private”

```
(define (make-rat n d)
  (lambda (prop)
    (case prop
      ('get-numer n)
      ('get-denom d)
      ('print (cons n d))
      (else 'unknown-prop))))
```

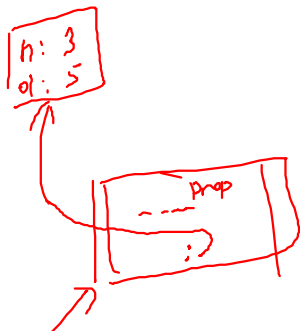
Капсулация на базови операции

Проблем: операциите над СД са видими глобално

Идея: да ги направим “private”

```
(define (make-rat n d)
  (lambda (prop)
    (case prop
      ('get-numer n)
      ('get-denom d)
      (('print (cons n d)))
      (else 'unknown-prop))))
```

- (define r (make-rat 3 5))
- (r 'get-numer) → 3
- (r 'get-denom) → 5
- (~~(r 'print)~~) → (~~(3 . 5)~~)



Нормализация при капсулация

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (lambda (prop)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        (else 'unknown-prop))))))
```

Нормализация при капсулация

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (lambda (prop)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        (else 'unknown-prop)))))
```

- (define r (make-rat 4 6))
- (r 'print) \longrightarrow (2 . 3)

Капсулация на операции с аргументи

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (lambda (prop . params)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        (* (let ((r (car params)))
              (make-rat (* numer (r 'get-numer))
                        (* denom (r 'get-denom))))))
        (else 'unknown-prop))))
```

Капсулация на операции с аргументи

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (lambda (prop . params)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        (* (let ((r (car params)))
              (make-rat (* numer (r 'get-numer))
                        (* denom (r 'get-denom))))))
        (else 'unknown-prop))))
```

- (define r1 (make-rat 3 5))
- (define r2 (make-rat 5 2))
- ((r1 '* r2) 'print) → (3 . 2)

Извикване на собствени операции

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (define (self prop . params)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        ('* (let ((r (car params)))
              (make-rat (* (self 'get-numer) (r 'get-numer))
                        (* (self 'get-denom) (r 'get-denom))))))
      (else 'unknown-prop)))
    self))
```

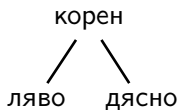
Извикване на собствени операции

```
(define (make-rat n d)
  (let* ((g (gcd n d))
         (numer (quotient n g))
         (denom (quotient d g)))
    (define (self prop . params)
      (case prop
        ('get-numer numer)
        ('get-denom denom)
        ('print (cons numer denom))
        ('* (let ((r (car params)))
              (make-rat (* (self 'get-numer) (r 'get-numer))
                        (* (self 'get-denom) (r 'get-denom)))))
        (else 'unknown-prop)))
    self))
```

Извикването на метод на обект чрез референция към себе си `self` или `this` се нарича **отворена рекурсия**.

Представяне на двоични дървета

Представяме двоични дървета като вложени списъци от три елемента:



(<корен> <ляво> <дясно>)

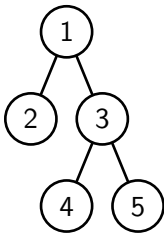
Представяне на двоични дървета

Представяме двоични дървета като вложени списъци от три елемента:



(<корен> <ляво> <дясно>)

Пример:



(1 (2 () ())
 (3 (4 () ())
 (5 () ())))

Базови операции

Проверка за коректност:

Базови операции

Проверка за коректност:

```
(define (tree? t)
  (or (null? t)
      (and (list t) (= (length t) 3)
            (tree? (cadr t))
            (tree? (caddr t))))
```

Базови операции

Проверка за коректност:

```
(define (tree? t)
  (or (null? t)
      (and (list t) (= (length t) 3)
            (tree? (cadr t))
            (tree? (caddr t))))
```

Конструктори:

Базови операции

Проверка за коректност:

```
(define (tree? t)
  (or (null? t)
      (and (list t) (= (length t) 3)
            (tree? (cadr t))
            (tree? (caddr t))))
```

Конструктори:

```
(define empty-tree '())
(define (make-tree root left right) (list root left right))
```

Базови операции

Проверка за коректност:

```
(define (tree? t)
  (or (null? t)
      (and (list t) (= (length t) 3)
            (tree? (cadr t))
            (tree? (caddr t)))))
```

Конструктори:

```
(define empty-tree '())
(define (make-tree root left right) (list root left right))
```

Селектори:

Базови операции

Проверка за коректност:

```
(define (tree? t)
  (or (null? t)
      (and (list t) (= (length t) 3)
            (tree? (cadr t))
            (tree? (caddr t))))
```

Конструктори:

```
(define empty-tree '())
(define (make-tree root left right) (list root left right))
```

Селектори:

```
(define root-tree car)
(define left-tree cadr)
(define right-tree caddr)
(define empty-tree? null?)
```


Разширени операции

Дълбочина на дърво:

Разширени операции

Дълбочина на дърво:

```
(define (depth-tree t)
  (if (empty-tree? t) 0
      (1+ (max (depth (left-tree t))
                (depth (right-tree t))))))
```

Разширени операции

Дълбочина на дърво:

```
(define (depth-tree t)
  (if (empty-tree? t) 0
      (1+ (max (depth (left-tree t))
                (depth (right-tree t))))))
```

Намиране на поддърво:

Разширени операции

Дълбочина на дърво:

```
(define (depth-tree t)
  (if (empty-tree? t) 0
      (1+ (max (depth (left-tree t))
                (depth (right-tree t))))))
```

Намиране на поддърво:

```
(define (memq-tree x t)
  (cond ((empty-tree? t) #f)
        ((eqv? x (root-tree t)) t)
        (else (or (memq-tree x (left-tree t))
                    (memq-tree x (right-tree t))))))
```

Търсене на път в двоично дърво

Задача: Да се намери в дървото път от корена до даден възел x .

Търсене на път в двоично дърво

Задача: Да се намери в дървото път от корена до даден възел x .

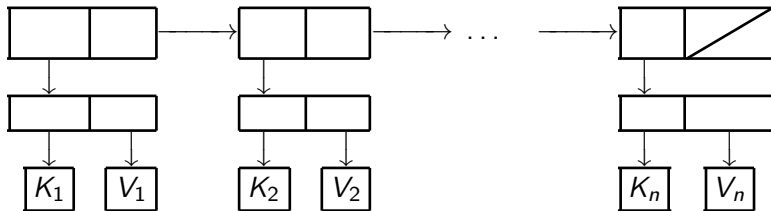
```
(define (path-tree x t)
  (cond ((empty-tree? t) #f)
        ((eq? x (root-tree t)) (list x))
        (else (cons#f (root-tree t)
                       (or (path-tree x (left-tree t))
                           (path-tree x (right-tree t)))))))

(define (cons#f h t) (and t (cons h t)))
```

Асоциативни списъци

Дефиниция

Асоциативните списъци (още: речник, хеш, map) са списъци от наредени двойки (<ключ> . <стойност>). <ключ> и <стойност> може да са произволни S-изрази.

$$((K_1 . V_1) (K_1 . V_2) \dots (K_n . V_n))$$


Примери за асоциативни списъци

- $((1 \cdot 2) (2 \cdot 3) (3 \cdot 4))$

Примери за асоциативни списъци

- $((1 . 2) (2 . 3) (3 . 4))$
- $((a . 10) (b . 12) (c . 18))$

$(e1, (1 8))$ $(e2, (10 12))$ $(e3, (1))$

Примери за асоциативни списъци

- $((1 \ . \ 2) \ (2 \ . \ 3) \ (3 \ . \ 4))$
- $((a \ . \ 10) \ (b \ . \ 12) \ (c \ . \ 18))$
- $((11 \ 1 \ 8) \ (12 \ 10 \ 1 \ 2) \ (13))$

Примери за асоциативни списъци

- $((1 . 2) (2 . 3) (3 . 4))$
- $((a . 10) (b . 12) (c . 18))$
- $((11 1 8) (12 10 1 2) (13))$
- $((a11 (1 . 2) (2 . 3)) (a12 (b)) (a13 (a . b) (c . d)))$

Примери за асоциативни списъци

- `((1 . 2) (2 . 3) (3 . 4))`
- `((a . 10) (b . 12) (c . 18))`
- `((11 1 8) (12 10 1 2) (13))`
- `((a11 (1 . 2) (2 . 3)) (a12 (b)) (a13 (a . b) (c . d)))`

Пример: Създаване на асоциативен списък по списък от ключове и функция:

```
(define (make-alist f keys)
  (map (lambda (x) (cons x (f x))) keys))
```

Примери за асоциативни списъци

- `((1 . 2) (2 . 3) (3 . 4))`
- `((a . 10) (b . 12) (c . 18))`
- `((11 1 8) (12 10 1 2) (13))`
- `((a11 (1 . 2) (2 . 3)) (a12 (b)) (a13 (a . b) (c . d)))`

Пример: Създаване на асоциативен списък по списък от ключове и функция:

```
(define (make-alist f keys)
  (map (lambda (x) (cons x (f x))) keys))
```

```
(make-alist square '(1 3 5)) → ((1 . 1) (3 . 9) (5 . 25))
```

Селектори за асоциативни списъци

- `(define (keys alist) (map car alist))`

Селектори за асоциативни списъци

- `(define (keys alist) (map car alist))`
- `(define (values alist) (map cdr alist))`

Селектори за асоциативни списъци

- `(define (keys alist) (map car alist))`
- `(define (values alist) (map cdr alist))`
- `(assoc <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - Ако <ключ> се среща сред ключовете на <асоциативен-списък>, връща първата двойка (<ключ> . <стойност>)
 - Ако <ключ> не се среща сред ключовете, връща #f
 - Сравнението се извършва с `equal?`

Селектори за асоциативни списъци

- `(define (keys alist) (map car alist))`
- `(define (values alist) (map cdr alist))`
- `(assoc <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - Ако <ключ> се среща сред ключовете на <асоциативен-списък>, връща първата двойка (<ключ> . <стойност>)
 - Ако <ключ> не се среща сред ключовете, връща #f
 - Сравнението се извършва с `equal?`
- `(assv <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - също като `assoc`, но сравнява с `eqv?`

Селектори за асоциативни списъци

- `(define (keys alist) (map car alist))`
- `(define (values alist) (map cdr alist))`
- `(assoc <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - Ако <ключ> се среща сред ключовете на <асоциативен-списък>, връща първата двойка (<ключ> . <стойност>)
 - Ако <ключ> не се среща сред ключовете, връща #f
 - Сравнението се извършва с `equal?`
- `(assv <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - също като `assoc`, но сравнява с `eqv?`
- `(assq <ключ> <асоциативен-списък>)`
 - също като `assoc`, но сравнява с `eq?`

Трансформации над асоциативни списъци

- Изтриване на ключ и съответната му стойност (ако съществува):

Трансформации над асоциативни списъци

- Изтриване на ключ и съответната му стойност (ако съществува):

```
(define (del-assoc key alist)
  (filter (lambda (kv) (not (equal? (car kv) key))) alist))
```

Трансформации над асоциативни списъци

- Изтриване на ключ и съответната му стойност (ако съществува):

```
(define (del-assoc key alist)
  (filter (lambda (kv) (not (equal? (car kv) key))) alist))
```

- Задаване на стойност за ключ (изтривайки старата, ако има такава):

Трансформации над асоциативни списъци

- Изтриване на ключ и съответната му стойност (ако съществува):

```
(define (del-assoc key alist)
  (filter (lambda (kv) (not (equal? (car kv) key))) alist))
```

- Задаване на стойност за ключ (изтривайки старата, ако има такава):

```
(define (add-assoc key value alist)
  (cons (cons key value) (del-assoc key alist)))
```