8. Abstraktní datový typ

BAB37ZPR – Základy programování

Stanislav Vítek

Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

Přehled témat

- Část 1 – Abstraktní datové typy
  - Seznam
  - Množina
- Část 2 – Zásobník
  - P8.1 Kontrola uzávorkování
  - P8.2 Postfixová notace
- Část 3 – Fronta
  - P8.3 Rozpočítávání
  - P8.4 Tisková fronta

Část I

Abstraktní datové typy

Abstraktní datové typy

Datový typ

- rozsah hodnot, které patří do daného typu
- operace, které je možno s těmito hodnotami provádět

Abstraktní datový typ (ADT)

- rozhraní
- popis operací, které chceme provádět

Konkrétní datová struktura

- implementace
- přesný popis uložení dat v paměti
- definice funkcí pro práci s těmito daty

Dva pohledy na data

Abstraktní

- operace, které budu s daty provádět
- co musí operace splňovat
- například množina: ulož, najdi, vymaž

\+ snadný vývoj, jednodušší přemýšlení o problémech

− svádí k ignorování efektivity

Implementační

- jak jsou data uložena v paměti
- jak jsou operace implementovány
- například binární vyhledávací strom
- navazující předmět – PRGA

Nejpoužívanější ADT

- seznam
- množina
- slovník (asociativní pole)
- zásobník
- fronta

I. Abstraktní datové typy

Seznam

Množina

Seznam

- Seznam (proměnných nebo objektů) patří mezi základní datové struktury

Základní ADT – Abstract Data Type

- Seznam zpravidla nabízí sadu základních operací:
  - `insert()` – vložení prvku
  - `remove()` – odebrání prvku
  - `index_of()` – vyhledání prvku
  - `size()` – aktuální počet prvku v seznamu
- Implementace seznamu může být různá:
  - Pole
    - Indexování je velmi rychlé
    - Vložení prvku na konkrétní pozici může být pomalé

Nová alokace a kopírování.

  - Spojové seznamy

Různé varianty seznamu

- obsahuje posloupnost prvků
  - stejného typu
  - různého typu
- přidání prvku
  - na začátek
  - na konec
  - na určené místo
- odebrání prvku
  - ze začátku
  - z konce
  - konkrétní prvek
- test prázdnosti, délky
- případně další operace, např. přístup pomocí indexu

Seznamy v Pythonu – operace

Opakování

- seznamy v Pythonu velmi obecné, prvky mohou být různých typů
- přístup skrze indexy, indexování od konce pomocí záporných čísel
- seznamy lze modifikovat na libovolné pozici

```
>>> a = ['bacon', 'eggs', 'spam', 42]
>>> print(a[1:3]) # ['eggs', 'spam']
['eggs', 'spam']
>>> print(a[-2:-4:-1]) # ['spam', 'eggs']
['spam', 'eggs']
>>> a[-1] = 17
>>> print(a) # ['bacon', 'eggs', 'spam', 17]
['bacon', 'eggs', 'spam', 17]
>>> print(len(a)) # 4
4
```

Seznamy v Pythonu – operace 1/2

```
>>> s = [4, 1, 3]  # seznam
>>> x = 10; t = [12, 10]; i = 2
>>> s.append(x)    # prida prvek x na konec
>>> s
[4, 1, 3, 10]
>>> s.extend(t)    # prida vsechny prvky t na konec
>>> s
[4, 1, 3, 10, 12, 10]
>>> s.insert(i, x) # prida prvek x pred prvek na pozici i
>>> s
[4, 1, 10, 3, 10, 12, 10]
>>> s.remove(x)    # odstrani prvni prvek rovny x
>>> s
[4, 1, 3, 10, 12, 10]
```

Seznamy v Pythonu – operace 2/2

```
>>> s.pop(i)        # odstrani (a vrati) prvek na pozici i
3
>>> s.pop()         # odstrani (a vrati) posledni prvek
10
>>> s.index(x)      # vrati index prvniho prvku rovneho x
2
>>> s.count(x)      # vrati pocet vyskytu prvku rovnych x
1
>>> s.sort()        # seradi seznam
>>> s
[1, 4, 10, 12]
>>> s.reverse()     # obrat seznam
>>> s
[12, 10, 4, 1]
```

Seznamy v Pythonu – generátorová notace

- Specialita Pythonu

```
>>> s = [x for x in range(1, 7)]
>>> print(s)
[1, 2, 3, 4, 5, 6]

>>> s = [2 * x for x in range(1, 7)]
>>> print(s)
[2, 4, 6, 8, 10, 12]

>>> s = [(a, b) for a in range(1, 2)  for b in ["A", "B"]]
>>> print(s)
[(1, 'A'), (1, 'B')]
```

I. Abstraktní datové typy

Seznam

Množina

Množina

- Neuspořádaná kolekce dat bez vícenásobných prvků
- Operace
  - insert (vložení)
  - find (vyhledání prvku, test přítomnosti)
  - remove (odstranění)
- Použití
  - grafové algoritmy (označené navštívených vrcholů)
  - rychlé vyhledávání
  - výpis unikátních slov

Množina v Pythonu

```
>>> x = [1, 2, 3, 1, 5, 2]
>>> s = set(x)      # vytvori mnozinu ze seznamu
>>> s
{1, 2, 3, 5}
>>> len(s)          # pocet pruku mnoziny s
4
>>> s.add(10)      # pridani pruku do mnoziny
>>> s
{1, 2, 3, 5, 10}
>>> s.remove(2) # odebrani pruku z mnoziny
>>> s
{1, 3, 5, 10}
>>> 10 in s      # test, zda mnozina obsahuje x
True
```

Množina v Pythonu

```
>>> a = set("abracadabra")
>>> b = set("engineering")
>>> a
{'b', 'd', 'c', 'a', 'r'}
>>> b
{'g', 'i', 'n', 'r', 'e'}
>>> a | b    # ekv. a.union(b), sjednoceni
{'g', 'b', 'i', 'c', 'd', 'n', 'a', 'r', 'e'}
>>> a & b     # ekv. a.intersection(b), prunik
{'r'}
>>> a - b    # ekv. a.difference(b), rozdil
{'a', 'd', 'c', 'b'}
>>> a ^ b     # ekv. a.symmetric_diference(b)
{'b', 'c', 'n', 'a', 'g', 'i', 'd', 'e'}
```

Část II

Zásobník

Zásobník

- strukturovaný/složený datový typ
- obsahuje předem neznámé množství položek, typicky stejného typu *(jako seznam/pole)*
- podporuje následující operace (se složitostí $O(1)$)
  - přidání položky na konec – `push`
  - odebrání položky z konce – `pop`
  - test, jestli je zásobník prázdný – `is_empty`
- položky jsou odebírány v opačném pořadí, než byly přidány.
  LIFO – last in first out
- zásobník může podporovat i další operace
  - nedestruktivní čtení z konce – `peek`, `top`
  - zjištění počtu položek na zásobníku – `size`

Zásobník – implementace pomocí pole

```
>>> class Stack:
...     def __init__(self):
...         self.items = []
...
...     def size(self):
...         return len(self.items)
...     def is_empty(self):
...         return self.size()==0
...     def push(self, item):
...         self.items+=[item]
...     def pop(self):
...         return self.items.pop()
...     def peek(self):
...         return self.items[-1]
...
```

Zásobník – příklad použití

```
>>> s = Stack()
>>> s.push(1)
>>> s.push(2)
>>> s.pop()
2
>>> s.push(10)
>>> s.pop()
10
>>> s.is_empty()
False
>>> s.pop()
1
>>> s.is_empty()
True
```

II. Zásobník

P8.1 Kontrola uzávorkování

P8.2 Postfixová notace

P8.1 Kontrola uzávorkování 1/2

```
>>> def par_checker(input):
...     L = "([{"  # otevírací závorky
...     R = ")]}"  # uzavírací závorky (stejné pořadí)
...     s = Stack()
...
...     for c in input:
...         if c in L:
...             s.push(c)
...         else:
...             for i in range(len(R)):
...                 if c == R[i]:
...                     if s.is_empty() or s.pop()!=L[i]:
...                         return False
...     return s.is_empty()
...
```

stack_examples.py

```
>>> print(par_checker("(4+(3*[a+b]))"))
True

>>> print(par_checker("(x+([21*c]-5}*6)"))
False

>>> print(par_checker("[(3+4)*7-{}*(((0)+(1))%7)]"))
True

>>> print(par_checker("{ { ( [ ] [ ] ) } ( ) }"))
True

>>> par_checker("ahoj+(svete-(X+Y{}})")
False
```

II. Zásobník

P8.1 Kontrola uzávorkování

P8.2 Postfixová notace

P8.2 Postfixová notace

- Klasická notace je **infixová** – operátor je mezi operandy
- Někdy je výhodnější **postfixová** notace – operátor je po argumentech
  - Nepotřebuje závorky.
  - Snadné vyhodnocení pomocí **zásobníku**

Existují zásobníkové programovací jazyky (FORTH, Postscript, bibtex).

infix	postfix
`12 / 4`	`12 4 /`
`3 * 4 - 2`	`3 4 * 2 -`
`3 * (4 - 2)`	`3 4 2 - *`
`(62-32)*5/9`	`62 32 - 5 * 9 /`

Existuje i notace prefixová: `/ 12 4`, `- * 3 4 2`,...

P8.1 Postfixová notace a zásobník

Vyhodnocení výrazu:

- *číslo* na vstupu vložíme do zásobníku.
- *operand* vezme dvě čísla ze zásobníku a vloží do zásobníku výsledek operace.

infix	postfix
`12 / 4`	`12 4 /`
`3 * 4 - 2`	`3 4 * 2 -`
`3 * (4 - 2)`	`3 4 2 - *`
`(62-32)*5/9`	`62 32 - 5 * 9 /`

```
>>> def eval_postfix(s):
...     stack=Stack()
...     for x in s.split(): # rozděl 's' dle mezer
...         if x=='+':
...             stack.push(stack.pop()+stack.pop())
...         elif x=='-':
...             stack.push(-stack.pop()+stack.pop())
...         elif x=='*':
...             stack.push(stack.pop()*stack.pop())
...         elif x=='/':
...             second=stack.pop()
...             stack.push(stack.pop()/second)
...         else: # 'x' je číslo
...             stack.push(float(x))
...     return stack.pop()
...
```

```
>>> print(eval_postfix("3 4 *"))
12.0

>>> print(eval_postfix("10 6 -"))
4.0

>>> print(eval_postfix("20 4 /"))
5.0

>>> print(eval_postfix("3 4 * 2 -")) # 3 * 4 - 2
10.0

>>> print(eval_postfix("3 4 2 - *")) # 3 * (4 - 2)
6.0
```

P8.2 Převod infixového na postfixový výraz 1/4

Edsger Dijkstra: Shunting yard algorithm *(seřaďovací nádraží)*

1. **Číslo** okopíruj na výstup.
2. **Operátor** ulož do zásobníku operátorů.
   (a) Je-li v zásobníku operátor s vyšší prioritou, přesuň tento operátor nejdřív na výstup.
3. **Otevírací závorku** ulož do zásobníku.
4. Po přečtení **uzavírací závorky** přesouvej ze zásobníku na výstup, dokud nenarazíš na otevírací závorku, kterou zahoď.
5. Nakonec přesuň ze zásobníku na výstup zbývající operátory.

stack_examples.py

funkce **infix_to_postfix**

```
>>> def infix_to_postfix(s):
...
...     result = ""  # výstupní řetězec
...     op = Stack() # zásobník operátorů
...     i = 0        # index 's'
...
...     while i<len(s):
...         if s[i] in "0123456789":
...             while i<len(s) and s[i] in  "0123456789":
...                 result+=s[i]
...                 i+=1
...             result+=" "
...             continue
```

```
...         if s[i]=='(':
...             op.push(s[i])
...         elif s[i]==')':
...             top=op.pop()
...             while top!='(':
...                 result+=top+" "
...                 top=op.pop()
...         else: # s[i] is +,-,*,/
...             while not op.is_empty() and not higher_prec(s[i],op.peek()):
...                 result+=op.pop()+" "
...             op.push(s[i])
...         i+=1
...     while not op.is_empty():
...         result+=op.pop()+" "
...     return result
...
```

```
>>> def higher_prec(a,b):
...     """ operátor 'a' má vyšší prioritu než 'b' (na vrcholu zásobníku) "'
...     return ((a in "*/") and (b in "+-")) or (b=="(")
...
>>> print(infix_to_postfix("32+4"))
32 4 +

>>> print(infix_to_postfix("3*4-2"))
3 4 * 2 -

>>> print(infix_to_postfix("3*(4-2)"))
3 4 2 - *

>>> print(infix_to_postfix("(62-32)*5/9"))
62 32 - 5 * 9 /
```

P8.2 Vyhodnocování infixových výrazů

- Výraz převedeme na postfixový a vyhodnotíme.

```
>>> def eval_infix(s):
...     return eval_postfix(infix_to_postfix(s))
...
>>> print(eval_infix("32+4"))
36.0

>>> print(eval_infix("3*4-2"))
10.0

>>> print(eval_infix("3*(4-2)"))
6.0

>>> print(eval_infix("(62-32)*5/9"))
16.666666666666668
```

Část III

Fronta

Fronta (Queue)

- strukturovaný/složený datový typ
- obsahuje předem neznámé množství položek, typicky stejného typu *(jako pole)*
- podporuje následující operace (se složitostí $O(1)$)
  - přidání položky na konec *(enqueue, add)*
  - odebrání položky **ze začátku** *(dequeue, top)*
  - test, jestli je fronta prázdná *(is_empty)*
- položky jsou odebírány ve **stejném** pořadí, jako byly přidány. *(FIFO — first in first out)*
- fronta může podporovat i další operace
  - nedestruktivní čtení ze začátku *(peek)*
  - zjištění počtu položek ve frontě *(size)*
- Pokročilejší varianta: prioritní fronta

Fronta – použití

- Komunikace mezi procesy *(consumer,producer)*
- Čekání na asynchronní periferie — klávesnice, disk, síť ...
- 'Férový přístup' pro sdílení zdrojů *(policy)*
- Simulace čekání ve frontě
- Některé grafové a třídící algoritmy *(prohledávání do šířky, merge sort)*

Fronta – implementace v Pythonu 1/2

- Implementace pomocí seznamů snadná, ale neefektivní
  - přidávání a odebírání na začátku seznamu vyžaduje přesuny
  - pomalé pro dlouhé fronty
  - přesto si implementaci ukážeme
- Použití knihovny `collections`
  - datový typ `deque` (oboustranná fronta)
  - vložení do fronty pomocí `append`
  - odebrání z fronty pomocí `popleft`
  - přední prvek fronty je `[0]`

Fronta – implementace v Pythonu 2/2

```
>>> from collections import deque
>>> q = deque(["Eric", "John", "Michael"])
>>> q.append("Terry")  # přichází Terry
>>> q
deque(['Eric', 'John', 'Michael', 'Terry'])
>>> q.append("Graham") # přichází Graham
>>> q
deque(['Eric', 'John', 'Michael', 'Terry', 'Graham'])
>>> q.popleft()        # odchází Eric
'Eric'
>>> q.popleft()        # odchází John
'John'
>>> q
deque(['Michael', 'Terry', 'Graham'])
```

Fronta – vlastní implementace 1/2

- Implementace pomocí seznamu, s pomalým vkládáním
- Složitost vkládání je $O(n)$

```
>>> class Queue1:
...     def __init__(self):
...         self.items = []
...     def is_empty(self):
...         return self.items == []
...     def enqueue(self, item):
...         self.items.insert(0,item)
...     def dequeue(self):
...         return self.items.pop()
...     def size(self):
...         return len(self.items)
...
```

Fronta – vlastní implementace 2/2

```
>>> q = Queue1()
>>> q.enqueue(1)
>>> q.enqueue(2)
>>> print(q.dequeue())
1
>>> q.enqueue(10)
>>> print(q.dequeue())
2
>>> print(q.is_empty())
False
>>> print(q.dequeue())
10
>>> print(q.is_empty())
True
```

Fronta – seznam s realokací 1/3

- Prvky ukládáme do seznamu.
- Vkládání na konec seznamu ($O(1)$).
- Prvky nemažeme, ale posouváme index počátku.
- Pokud je vynechaných prvků hodně, překopírujeme frontu do nového pole.
- Kopírujeme po poklesu využití paměti na 50 %
- Odebrání n prvků vyžaduje $\sim \log_2 n$ kopírování, dohromady $n/2 + n/4 + \cdots \sim n$ prvků
  $\rightarrow$ amortizovaná složitost odebrání prvku je $O(1)$.
- Nevýhoda – neefektivní využití paměti.

`arrayqueue.py`

Fronta – pole s realokací 2/3

```
>>> class Queue2:
...     def __init__(self):
...         self.front = 0    # index prvního prvku
...         self.items = []
...     def is_empty(self):
...         return len(self.items) == self.front
...     def enqueue(self, item):
...         self.items+=[item]
...     def dequeue(s):
...         el = s.items[s.front];
...         s.front+=1
...         if s.front >= 1024 and s.front>=len(s.items)//2:
...             s.items = s.items[s.front:];
...             s.front = 0
...         return el
```

Fronta – pole se realokací 3/3

```
...     def size(self):
...         return len(self.items)
...
>>> q = Queue2()
>>> q.enqueue(1)
>>> q.enqueue(2)
>>> print(q.dequeue())
1
>>> print(q.is_empty())
False
>>> print(q.dequeue())
2
>>> print(q.is_empty())
True
```

Fronta – dva zásobníky (Donald Knuth) 1/2

- Prvky ukládáme do zásobníku `inp` ($O(1)$)
- Prvky odebíráme ze zásobníku `out` ($O(1)$)
- Když je `out` prázdný, přesuneme do něj `inp`
- Každý prvek je kopírován jen jednou, složitost zůstává $O(1)$

Fronta – dva zásobníky (Donald Knuth) 2/2

```
>>> class Queue3:
...     def __init__(self):
...         self.inp = Stack()
...         self.out = Stack()
...     def is_empty(self):
...         return self.size()==0
...     def enqueue(self, item):
...         self.inp.push(item)
...     def dequeue(self):
...         if self.out.is_empty():
...             while not self.inp.is_empty():
...                 self.out.push(self.inp.pop())
...         return self.out.pop()
...     def size(self):
...         return self.inp.size() + self.out.size()
...
```

III. Fronta

P8.3 Rozpočítávání

P8.4 Tisková fronta

P8.3 Rozpočítávání 1/2

- Děti v kruhu, rozpočítávadlo má m slabik, začíná se prvním.
- Na koho padne poslední slabika, vypadává.
- Hraje se, dokud nevypadne poslední.
- Děti reprezentujeme pomocí fronty, budeme přesouvat ze začátku na konec.

```
>>> def rozpocitej(jmena, m):
...     p = Queue1()
...     for j in jmena:    # uloz jmena do fronty
...         p.enqueue(j)
...     while p.size() > 1:
...         for i in range(m-1):
...             p.enqueue(p.dequeue())
...         print("Vypadl(a): ", p.dequeue())
...     return p.dequeue()  # vrať vítěze
...
```

```
>>> v = rozpocitej(["Adam", "Bara", "Cyril", "David", "Emma",
... "Franta", "Gabina"], 3)
Vypadl(a):  Cyril
Vypadl(a):  Franta
Vypadl(a):  Bara
Vypadl(a):  Gabina
Vypadl(a):  Emma
Vypadl(a):  Adam
>>> print("Vyhral(a): ", v)
Vyhral(a):  David
```

III. Fronta

P8.3 Rozpočítávání

P8.4 Tisková fronta

8.4 Tisková fronta

- Máme *n* uživatelů, náhodně posílají požadavky na tisk *(úlohy)* s náhodným počtem stran.
- Tiskárna tiskne danou rychlostí úlohy v pořadí, jak přicházejí *(fronta)*.
- Chceme simulovat a zjistit průměrnou dobu čekání na dokončení úlohy.
- Stav tiskárny a úlohy jsou záznamy

```
>>> class Uloha:
...     def __init__(self,t,s):
...         self.time=t    # čas vytvoření
...         self.stran=s   # počet stran
...
>>> class Tiskarna:
...     def __init__(self):
...         self.uloha=None
...         self.zbyvajici_cas=0
...
```

```
>>> import random
>>> def simuluj(people, prob, pages, seconds, simulation):
...     """ Nasimuluje chovani tiskove fronty.
...         "people"      - pocet lidi
...         "prob"        - pravd. vytvoreni ulohy v dane vterine
...         "pages"       - maximalni pocet stran v uloze
...         "seconds"     - pocet sekund na stranku
...         "simulation"  - delka simulace v sekundach """
...     q = Queue1()        # tiskova fronta
...     t = Tiskarna()      # stav tiskarny
...     casy_cekani = []    # délky čekání na vytisknutí v sekundách
```

```
...     for i in range(simulation):
...         simuluj_lidi(people, seconds, pages, q, i)
...         simuluj_tiskarnu(seconds, q, t, i, casy_cekani)
...     avg_time = sum(casy_cekani)/len(casy_cekani)
...     print("Prumerna doba cekani  %5.2fs." % avg_time)
...     return avg_time
...
>>> def simuluj_lidi(num_people, prob_second, max_pages, q, i):
...     for j in range(num_people):
...         if random.random()<prob_second:
...             pocet_stran=random.randrange(1,max_pages+1)
...             print("Cas %d, pozadavek na tisk %d stran." %
...                 (i,pocet_stran))
...         q.enqueue(Uloha(i, pocet_stran))
...
```

```
>>> def simuluj_tiskarnu(seconds_per_page,q,t,i,casy_cekani):
...   if t.uloha != None:        # tiskarna tiskne
...     t.zbyvajici_cas-=1
...     if t.zbyvajici_cas<=0: # hotovo
...       print("Cas %d, tisk %d stran/y hotov, cekani %5.1fs."
...                   % (i,t.uloha.stran,i-t.uloha.time))
...       casy_cekani+=[i-t.uloha.time]
...       t.uloha=None
...   if t.uloha==None:        # tiskarna je volna
...     if not q.is_empty():  # ve fronte je uloha
...       t.uloha=q.dequeue()
...       print("Cas %d, zaciname tisknout ulohu majici %d stran."
...                         % (i,t.uloha.stran))
...       t.zbyvajici_cas=t.uloha.stran*seconds_per_page
...
```

```
>>> simuluj(2, .0001, 3, 1, 10)
Cas 0, pozadavek na tisk 3 stran.
Cas 0, pozadavek na tisk 1 stran.
Cas 0, zaciname tisknout ulohu majici 3 stran.
Cas 1, pozadavek na tisk 2 stran.
Cas 1, pozadavek na tisk 1 stran.
Cas 2, pozadavek na tisk 3 stran.
Cas 2, pozadavek na tisk 1 stran.
Cas 3, pozadavek na tisk 3 stran.
Cas 3, pozadavek na tisk 3 stran.
Cas 3, tisk 3 stran/y hotov, cekani   3.0s.
Cas 3, zaciname tisknout ulohu majici 1 stran.
Cas 4, pozadavek na tisk 2 stran.
Cas 4, pozadavek na tisk 2 stran.
Cas 4, tisk 1 stran/y hotov, cekani   4.0s.
Cas 4, zaciname tisknout ulohu majici 2 stran.
```

Část IV

Spojový seznam

Uchovávání prvků

Základním datovým typem pro uchování množiny prvků (proměnných/struktur) je **pole**, v Pythonu nejčastěji realizované **seznamem**.

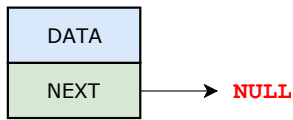
- Jedná se o kolekci položek (proměnných) stejného nebo rozdílného typu
+ Umožňuje jednoduchý přístup k položkám indexací prvku
– Některé operace mohou být časově náročné
  - Přidávání prvků na začátek seznamu
  - Vkládání nových prvků
  - Změna velikosti
- V případě řazení pole přesouváme položky

Spojové seznamy

- Datová struktura realizující seznam dynamické délky
- Každý prvek (uzel, node) seznamu obsahuje
  - Datovou část (hodnota proměnné / objekt / ukazatel na data)
  - Odkaz (ukazatel) na další prvek v seznamu

  NULL nebo vhodnou zarážku v případě posledního prvku seznamu.
- První prvek seznamu se zpravidla označuje jako **head** nebo **start**.

  Realizujeme jej jako ukazatel odkazující na první prvek seznamu.



Základní operace se spojovým seznamem

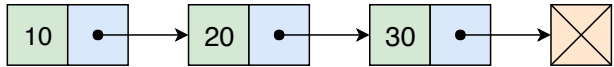
- Vložení prvku
  - Předchozí prvek odkazuje na nový prvek
  - Nový prvek může odkazovat na předchozí prvek, který na něj odkazuje

  Obousměrný spojový seznam.
- Odebrání prvku
  - Předchozí prvek aktualizuje hodnotu odkazu na následující prvek
  - Předchozí prvek tak nově odkazuje na následující hodnotu, na kterou odkazoval odebíraný prvek

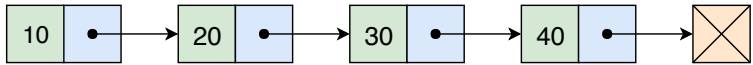
Základní implementací spojového seznamu je tzv. jednosměrný spojový seznam

Jednosměrný spojový seznam

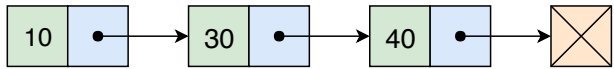
- Příklad spojového seznamu pro uložení číselných hodnot



- Přidání prvku 40 na konec seznamu



- Odebrání prvku 20 ze seznamu



1. Nejdříve sekvenčně najdeme prvek s hodnotou 30

   Prvek, na který odkazuje NEXT odebíraného prvku.

2. Následně vyjmeme a napojíme prvek 10 na prvek 30

   Hodnotu NEXT prvku 10 nastavíme na adresu prvku 30.

Reprezentace uzlu

```
>>> class Node:   # uzel
...     def __init__(self,data):
...         self.data = data
...         self.next = None # odkaz na dalsi uzel
...
```

Spojový seznam jako zásobník 1/2

```
>>> class ListStack:   # seznam
...     def __init__(self):
...         self.head = None
...     def is_empty(self):
...         return self.head is None
...     def push(self,item):
...         node=Node(item)
...         node.next=self.head
...         self.head=node
...     def pop(self):
...         item=self.head.data
...         self.head=self.head.next
...         return item
...     def peek(self):
...         return self.head.data
...
```

Spojový seznam jako zásobník 2/2

```
>>> s = ListStack()
>>> s.push(1)
>>> s.push(2)
>>> print(s.pop())
2
>>> print(s.pop())
1
>>> s.push(10)
>>> print(s.is_empty())
False
>>> print(s.pop())
10
>>> print(s.is_empty())
True
```

Spojový seznam jako fronta 1/3

```
>>> class ListQueue(ListStack):
...     def __init__(self):
...         self.head = None
...         self.last = None # last item
...         self.count = 0
...     def pop(self):          # odeber ze začátku
...         item=self.head.data
...         self.head=self.head.next
...         if self.head is None:
...             self.last=None
...             self.count-=1
...         return item
...     def dequeue(self):
...         return self.pop()
```

Spojový seznam jako fronta 2/3

```
...     def push(self,item):    # přidej na začátek
...         node=Node(item)
...         node.next=self.head
...         if self.head is None:
...             self.last=node
...             self.head=node
...             self.count+=1
...     def enqueue(self,item): # přidej na konec
...         node=Node(item)
...         if self.head is None: # seznam je prázdný
...             self.head=node
...             self.last=node
...         else:
...             self.last.next=node
...             self.last=node
...             self.count+=1
```

Spojový seznam jako fronta 3/3

```
>>> q = ListQueue()
>>> q.enqueue(1)
>>> q.enqueue(2)
>>> print(q.dequeue())
1
>>> q.enqueue(10)
>>> print(q.dequeue())
2
>>> print(q.is_empty())
False
>>> print(q.dequeue())
10
>>> print(q.is_empty())
True
```

Procházení prvků pole

- Doplníme do třídy `ListQueue` metody:

```
def iter(self,f):
""" execute f(x) for all 'x' in the queue """
  node=self.head
  while node is not None:
    f(node.data)
    node=node.next


def reduce(self,f,acc):
""" execute acc=f(x,acc) for all 'x' in the queue """
  node=self.head
  while node is not None:
    acc=f(node.data,acc)
    node=node.next
  return acc
```

Konverze na pole a z pole

- Doplníme do třídy `ListQueue` metodu:

```
def to_array(self):
  a=[]
  self.iter(lambda x: a.append(x))
  return a
```

- Funkce pro vytvoření seznamu z pole

```
def array_to_queue(a):
  q=ListQueue()
    for x in a:
      q.enqueue(x)
  return q
```

linkedlistqueue.py

Příklady

```
from linkedlistqueue import ListQueue,array_to_queue

q=array_to_queue([4,2,7,3])
print(q.reduce(max,0))

 7

print(q.reduce(lambda x,acc: acc+x,0))

 16

print(q.to_array())

 [4, 2, 7, 3]
```

Vyhledávání v seznamu

- Metoda třídy `ListQueue`, složitost $O(n)$

```
def contains(self,x):
""" returns True if the list contains element x """
  node=self.head
  while node is not None:
    if node.data==x:
      return True
    node=node.next
  return False

q=array_to_queue([3,52,69,17,19])
print(q.contains(17))
```

```
True
```

```
print(q.contains(20))
```

```
False
```

Mazání v seznamu

- Metoda třídy `ListQueue`:

```
def remove(self,x):
""" removes an element x, if present """
  node=self.head
  prev=None
  while node is not None:
    if node.data==x:
      if prev is None:
        self.head=node.next
        if self.head is None:
          self.last=None
    else:
      prev.next=node.next
  prev=node
  node=node.next
```

linkedlistqueue.py

Mazání v seznamu

- Příklad

```
from linkedlistqueue import ListQueue,array_to_queue

q=array_to_queue([3,2,5,8,11])
q.remove(5)
print(q.to_array())
```

```
[3, 2, 8, 11]
```

```
q.remove(3)
print(q.to_array())
```

```
[2, 8, 11]
```

```
q.remove(11)
print(q.to_array())
```

```
[8, 11]
```

linkedlist_examples.py

Uspořádaný spojový seznam – řazení

- Seznam budeme udržovat seřazený.
- Seznam lze procházet jen ‘odpředu’ (od `self.head`).
- Vkládání *(insert)* ‘dopředu’ je rychlejší.
- Prvky mohou často přicházet srovnané vzestupně *(insertion sort)*
- Seznam budeme řadit sestupně, aby větší prvky mohly zůstat ‘vpředu’.

Uspořádaný spojový seznam – vkládání

```
class OrderedList(ListQueue):
  def insert(self,x):
    newnode=Node(x); prev=None; node=self.head
    while node is not None and x<node.data:
      prev=node
      node=node.next
    if node is None: # newnode patří na konec
      if self.head is None: # seznam je prázdný
        self.head=newnode
      else:
        self.last.next=newnode
      self.last=newnode
    else:
      if prev is None: # newnode patří na začátek
        self.head=newnode
      else: # newnode patří mezi prev a node
        prev.next=newnode
      newnode.next=node
    self.count+=1
```

Řazení vkládáním a spojové seznamy

```
def insertion_sort_linkedlist(a):
  """ sorts array a inplace in ascending order """
  q=OrderedList()
  for x in a:
    q.insert(x)
  for i in range(len(a)-1,-1,-1):
    a[i]=q.pop() # from the highest value
```

insertion_sort_linkedlist.py

Spojování seznamů v konstantním čase

- Doplníme do třídy `ListQueue` metodu

```
def concatenate(self,l):
  """ destruktivne pridej seznam 'l' na konec """
  if l.last is None:
    return
  if self.last is None:
    self.head=l.head
  else:
    self.last.next=l.head
  self.last=l.last
  self.count+=l.count
  l.head=None # smaž list 'l'
  l.last=None
  l.count=0
```

linkedlistqueue.py

Spojování seznamů – příklad

```
from linkedlistqueue import ListQueue,array_to_queue

q=array_to_queue([1,2,3])
r=array_to_queue([4,5])
q.concatenate(r)
print(q.to_array())
```

linkedlist_examples.py

Oboustranná fronta

Lineární datová struktura kombinující frontu a zásobník.

				spoj.sez.	
operace	zásob.	fronta	oboustranná fronta	jedn.	dvoj.
přidej na začátek	$O(1)$		$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
přidej na konec		$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
odeber ze začátku	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
odeber z konce			$O(1)$	$O(n)^\sharp$	$O(1)$
iterace vpřed				ano	ano
iterace vzad					ano

začátek = `self.head`
konec = `self.last`
$^\sharp$ $O(1)$, pokud máme odkaz i na předchozí uzel.

Aplikace oboustranné fronty

- Zásobník s omezenou délkou
  - Seznam navštívených stránek v prohlížeči
  - Undo/redo operace v textovém či grafickém editoru
- Rozvrhování pro více procesorů — volné procesory mohou ‘ukrást’ proces jiným.
- Nalezení maxima všech souvislých podsekvencí dané délky.

Spojový seznamu – shrnutí

- Podporuje mnoho operací v čase $O(1)$...
- ... za cenu větších časových a paměťových nároků (konstantní faktor)
- Pomocí spojového seznamu můžeme implementovat zásobník i frontu.
- *Dvojitě zřetězený* spojový seznam umí rychle více operací (iterace vzad, vypuštění prvku uprostřed) za cenu opět větších časových a paměťových nároků (konstantní faktor).