B0B99PRPA – Procedurální programování

Spojový seznam. Abstraktní datový typ.

Stanislav Vítek

Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

Přehled témat

- Část 1 – Spojový seznam
  - Spojový seznam
  - Spojový seznam
  - Vložení / odebrání prvku
  - Kruhový spojový seznam
  - Obousměrný spojový seznam
- Část 2 – Abstraktní datový typ
  - Datové struktury a abstraktní datový typ
  - Zásobník
  - Fronta

Část I

Spojový seznam

I. Spojový seznam

Spojový seznam

- V programech je velmi běžný požadavek na uchování seznamu (množiny) prvků (proměnných/struktur)
- Základní kolekce je pole
  - Jedná se o kolekci položek (proměnných) stejného typu
  + Umožňuje jednoduchý přístup k položkám indexací prvku

    Položky jsou stejného typu (velikosti).
  – Velikost pole je určena při vytvoření pole
    - Velikost (maximální velikost) musí být známa v době vytváření
    - Změna velikost v podstatě není přímo možná

      Nutné nové vytvoření (alokace paměti), resp. realloc.
    - Využití pouze malé části pole je mrháním paměti
  - V případě řazení pole přesouváme položky
    - Vložení prvku a vyjmutí prvku vyžaduje kopírování

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
  - `indexOf()` – 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

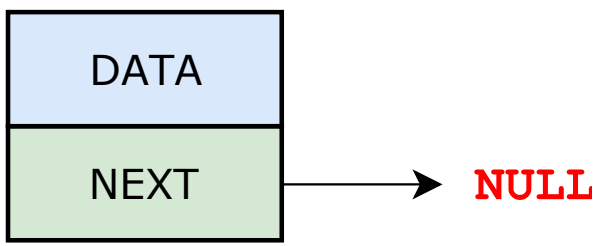
Spojové seznamy

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

NULL 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

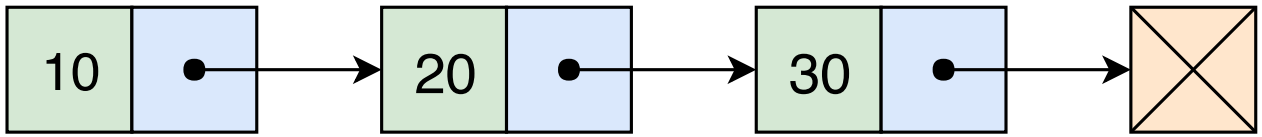
Obousměrný spojový seznam.

- 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.

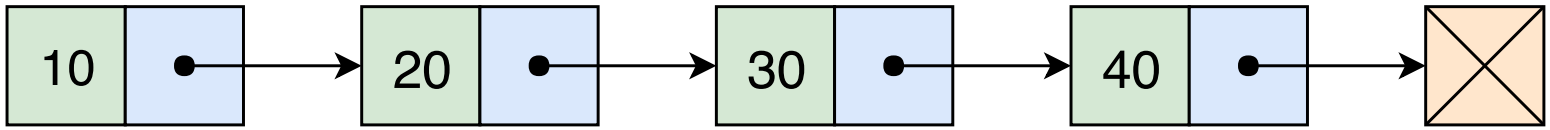
jednosměrný spojový seznam

Jednosměrný spojový seznam

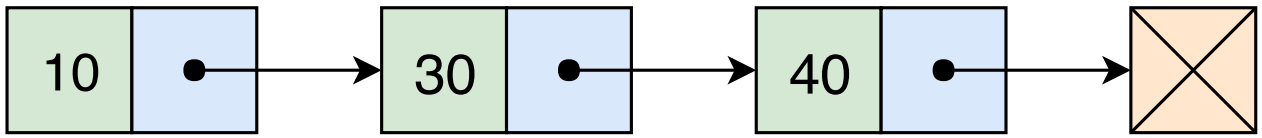
- Příklad spojového seznamu pro uložení číselných hodnot



- 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.

I. Spojový seznam

Spojový seznam

- Seznam tvoří struktura prvku
  - Vlastní data prvku
  - Odkaz (ukazatel) na další prvek
- Vlastní seznam
  - Ukazatel na první prvek `head`,
  - nebo vlastní struktura pro seznam
- Příklad struktur pro uložení spojového seznamu celých čísel

Obecně mohou obsahovat libovolná data.

```c
/* polozka */
typedef struct entry
{
  int value;
  struct entry *next;
} entry_t;

entry_t *head = NULL;
```

```c
/* spojova struktura */
typedef struct
{
  entry_t *head;
  entry_t *tail;
  int counter; // pocet prvku
} linked_list_t;
```

Přidání prvku – příklad

1. Vytvoříme nový prvek (10) seznamu a uložíme odkaz v `head`
   ```
   head = (entry_t*)malloc(sizeof(entry_t));
   head->value = 10;
   head->next = NULL;
   ```
2. Další prvek (20) přidáme propojením s aktuálně 1. prvkem
   ```
   entry_t *new = (entry_t*)malloc(sizeof(entry_t));
   new->value = 13;
   new->next = head
   ```
3. a aktualizací proměnné `head`
   ```
   head = new;
   ```

- Stále máme přístup na všechny prvky přes `head` a `head->next`
- Inicializace položek prvku je důležitá
  - Hodnota `head == NULL` indikuje prázdný seznam
  - Hodnota `entry->next == NULL` indikuje poslední prvek seznamu

Spojový seznam – **push()**

- Přidání prvku na začátek implementujeme ve funkci `push()`
- Předáváme adresu, kde je uložen odkaz na start seznamu
  - `head` je ukazatel, proto předáváme adresu proměnné, tj. `&head` a parametr je ukazatel na ukazatel.

```
void push(int value, entry_t **head)
{ // add new entry at front
  entry_t *new = (entry_t*)malloc(sizeof(entry_t));
  new->value = value; // set data
  if (*head == NULL)  // first entry in the list
    new->next = NULL; // reset the next
  else
    new->next = *head;
  *head = new;        // update the head
}
```

  - Alternativně můžeme `push()` implementovat také například jako `entry_t* push(int value, entry_t *head)`

Spojový seznam – **pop()**

- Odebrání prvního prvku ze seznamu

```
int pop(entry_t **head)
{  // linked list must be non-empty
  assert(head != NULL && *head != NULL);
  entry_t *prev_head = *head; // save the current head
  int ret = prev_head->value;
  *head = prev_head->next; // will be set to NULL if
  // the last item is popped
  free(prev_head); // relase memory of the popped entry
  return ret;
}
```

- Alternativně například také jako `int pop(entry_t *head)`, ale nenastaví `head` na `NULL` v případě vyjmutí posledního prvku

Spojový seznam – **size()**

- Zjištění počtu prvků v seznamu vyžaduje projít seznam až k zarážce `NULL`, tj. položka `next` je `NULL`
- Proměnnou `cur` používáme jako **kurzor** pro procházení seznamu

```
int size(const entry_t *const head)
{ // const - we do not attempt to modify the list
  int counter = 0;
  const entry_t *cur = head;
  while (cur) { // or cur != NULL
    cur = cur->next;
    counter += 1;
  }
  return counter;
}
```

- Pro zjištění počtu prvků v seznamu musíme projít kompletní seznam, tj. `n` položek

Spojový seznam – back()

- Vrácení hodnoty posledního prvku ze seznamu

```
int back(const entry_t *const head)
{
  const entry_t *end = head;
  while (end && end->next) { // 1st test list is not
    empty
    end = end->next;
  }
  assert(end); //do not allow calling back on empty
    list
  return end->value;
}
```

- Pro vrácení hodnoty posledního prvku v seznamu musíme projít všechny položky seznamu

Spojový seznam – **print()**

- Procházení seznamu

```
void print(const entry_t *const head)
{
  const entry_t *cur = head; // set the cursor to
   head
  while (cur != NULL) {
    printf("%i%s", cur->value, cur->next ? " " : "\n
    ");
    cur = cur->next; // move in the linked list
  }
}
```

- Použijeme konstantní ukazatel na konstantní proměnnou, neboť seznam pouze procházíme a nemodifikujeme

Z hlavičky funkce je zřejmé, že vstupní strukturu nemodifikujeme.

I. Spojový seznam

Spojový seznam – vložení prvku

- Vložení do seznamu:
  - na začátek – modifikujeme proměnnou head (funkce push())
  - na konec – modifikujeme proměnnou posledního prvku a nastavujeme nový konec tail (funkce pushEnd())
  - obecně – potřebujeme prvek (entry), za který chceme nový prvek (new_entry) vložit

```
entry_t *new = (entry_t*)malloc(sizeof(entry_t));
new->value = value; // nastaveni hodnoty
new->next = entry->next; //propojeni s nasledujicim
entry->next = new;  //propojeni entry
```

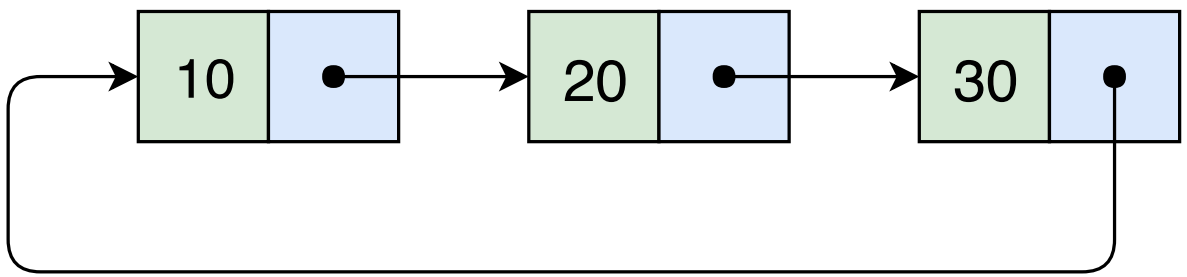
- Do seznamu můžeme chtít prvek vložit na konkrétní pozici, tj. podle indexu v seznamu

Zajímavou variantou je vkládání podle velikosti – insert sort.

I. Spojový seznam

Kruhový spojový seznam

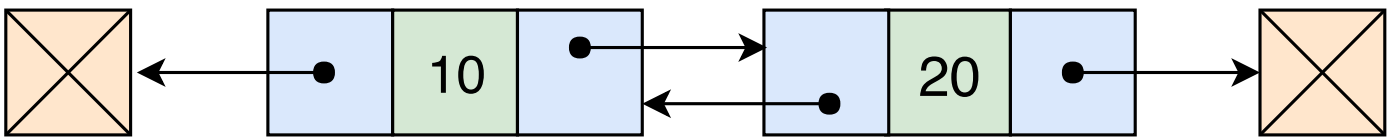
- Položka next posledního prvku může odkazovat na první prvek
- Tak vznikne kruhový spojový seznam
- Při přidání prvku na začátek je nutné aktualizovat hodnotu položky next posledního prvku



I. Spojový seznam

Obousměrný spojový seznam

- Každý prvek obsahuje odkaz na následující a předchozí položku v seznamu, položky `prev` a `next`
- První prvek má nastavenu položku `prev` na hodnotu `NULL`
- Poslední prvek má next nastavenu na `NULL`
- Příklad obousměrného seznamu celých čísel



Část II

Abstraktní datový typ

II. Abstraktní datový typ

Datové struktury a abstraktní datový typ

Datová struktura (typ) je množina dat a operací s těmito daty
Abstraktní datový typ formálně definuje data a operace s nimi.

- Množina druhů dat (hodnot) a príslušných operací
  - jsou přesně specifikovány a to nezávisle na konkrétní implementaci
- Definujeme rozhraní a operace, které rozhraní poskytuje
  - Konstruktor vracející odkaz (na strukturu nebo objekt)

    Procedurální i objektově orientovaný přístup.
  - Operace, které akceptují odkaz na argument (data)
  - Operace, které mají přesně definovaný účinek na data
- Fronta (Queue), Zásobník (Stack), Pole (Array), Tabulka (Table), Seznam (List), Strom (Tree), Množina (Set)

Abstraktní datový typ

- Počet datových položek může být
  - Neměnný – statický datový typ
    - počet položek je konstantní
    - např. pole, řetězec, struktura
  - Proměnný – dynamický datový typ
    - počet položek se mění v závislosti na provedené operaci (vložení / vyjmutí položky)
- Typ položek (dat):
  - Homogenní – všechny položky jsou stejného typu
  - Nehomogenní – položky mohou být různého typu
- Existence bezprostředního následníka
  - Lineární – existuje bezprostrední následník prvku, např. pole, fronta, seznam, ...
  - Nelineární – neexistuje přímý jednoznačný následník, např. strom

II. Abstraktní datový typ

Zásobník

- Zásobník je dynamická datová struktura umožnující vkládání a odebírání hodnot tak, že naposledy vložená hodnota se odebere jako první

LIFO – Last In, First Out

- Základní operace:
  - `push()` – vložení hodnoty na vrchol zásobníku
  - `pop()` – odebrání hodnoty z vrcholu zásobníku
  - `empty()` – test na prázdnost zásobníku
- Další operace nad zásobníkem mohou být
  - `top()` / `peek()` – čtení hodnoty z vrcholu zásobníku
  - `search()` – vrátí pozici prvku v zásobníku (pokud tam je)
  - `size()` – aktuální počet prvků v zásobníku (zpravidla není potřeba)

Zásobník – rozhraní

- Zásobník můžeme definovat rozhraním (funkcemi), bez konkrétní implementace

```
int stack_push(void *value, void **stack);
void* stack_pop(void **stack);
int stack_is_empty(void **stack);
void* stack_peek(void **stack);
void stack_init(void **stack); // inicializace ADT
void stack_delete(void **stack); // smazání ADT
void stack_free(void **stack); // uvolnění paměti
```

- V tomto případě používáme obecný zápis s ukazatelem typu `void`
- Je plně v režii programátora (uživatele) implementace, aby zajistil správné chování programu
  - Alokaci proměnných a položek vkládaných do zásobníku
  - A také následné uvolnění paměti
- Do zásobníku můžeme dávat rozdílné typy, musíme však zajistit jejich správnou interpretaci

Zásobník – implementace

- Součástí ADT není volba konkrétní implementace.
- Zásobník lze implementovat např.
  - Polem fixní velikosti (definujeme chování při zaplnění)
  - Polem s měnitelnou velikostí (realokace)
  - Spojovým seznamem

Zásobník – implementace polem 1/4

- Struktura se skládá z dynamicky alokovaného pole hodnot ukazatelů odkazující na jednotlivé prvky uložené do zásobníku

```
typedef struct {
  void **stack; // array of void pointers
  int count;
} stack_t ;
```

- Pomocné funkce pro inicializaci a uvolnění paměti

```
void stack_init(stack_t **stack);
void stack_delete(stack_t **stack);
void stack_free(stack_t *stack);
```

- Základní operace se zásobníkem

```
int stack_push(void *value, stack_t *stack);
void* stack_pop(stack_t *stack);
int stack_is_empty(const stack_t *stack);
void* stack_peek(const stack_t *stack);
```

Zásobník – implementace polem 2/4

- Maximální velikost zásobníku definuje hodnota makra

```
#ifndef STACK_SIZE
#define STACK_SIZE 5
#endif

void stack_init (stack_t **stack) {
  *stack = (stack_t*) malloc(sizeof(stack_t));
  (*stack)->stack = (void**) malloc(sizeof(void*)*STACK_SIZE);
  (*stack)->count = 0;
}
```

- `stack_free()` uvolní paměť vložených položek v zásobníku
- `stack_delete()` kompletně uvolní paměť alokovanou zásobníkem

```
void stack_free(stack_t *stack){
  while(!stack_is_empty (stack)){
    void *value = stack_pop (
    stack);
    free (value);
  }
}
```

```
void stack_delete (stack_t **
    stack) {
  stack_free (*stack);
  free((*stack)->stack);
  free(*stack);
  *stack = NULL;
}
```

Zásobník – implementace polem 3/4

```
int stack_push (void *value, stack_t *stack) {
  int ret = STACK_OK;
  if (stack->count < MAX_STACK_SIZE) {
    stack->stack[stack->count++] = value;
  } else {
    ret = STACK_MEMFAIL;
  }
  return ret;
}

void* stack_pop (stack_t *stack) {
  return stack->count > 0 ? stack->stack[--(stack->
    count)] : NULL;
}
```

Zásobník – implementace polem 4/4

```
void* stack_peek (const stack_t *stack) {
  return stack_is_empty (stack) ? NULL : stack->stack[
    stack->count - 1];
}

int stack_is_empty (const stack_t *stack) {
  return stack->count == 0;
}
```

Zásobník – implementace spojovým seznamem 1/4

- Definujeme strukturu `stack_entry_t` pro položku seznamu

```
typedef struct entry {
  void *value; //ukazatel na hodnotu vlozeného prvku
  struct entry *next;
} stack_entry_t ;
```

- Struktura zásobníku `stack_t` obsahuje pouze ukazatel na `head`

```
typedef struct {
  stack_entry_t *head;
} stack_t;
```

- Inicializace tak pouze alokuje strukturu `stack_t`

```
void stack_init (stack_t **stack) {
  *stack = (stack_t *)malloc(sizeof(stack_t));
  (*stack)->head = NULL;
}
```

Zásobník – Implementace spojovým seznamem 2/4

- Při vkládání prvku `push()` alokujeme položku spojového seznamu

```
int stack_push (void *value, stack_t *stack) {
  int ret = STACK_OK;
  stack_entry_t *new_entry = (stack_entry_t *) malloc(
    sizeof(stack_entry_t));
  if (new_entry) {
    new_entry->value = value;
    new_entry->next = stack->head;
    stack->head = new_entry;
  } else {
    ret = STACK_MEMFAIL;
  }
  return ret;
}
```

Zásobník – Implementace spojovým seznamem 3/4

- Při vyjmutí prvku funkcí `pop()` paměť uvolňujeme

```
void* stack_pop (stack_t *stack) {
  void *ret = NULL;
  if (stack->head) {
    ret = stack->head->value; //retrive the value
    stack_entry_t *tmp = stack->head;
    stack->head = stack->head->next;
    free (tmp);  // release stack_entry_t
  }
  return ret;
}
```

Zásobník – Implementace spojovým seznamem 4/4

- Implementace `stack_is_empty()` a `stack_peek()` je triviální

```
int stack_is_empty (const stack_t *stack) {
  return stack->head == 0;
}

void* stack_peek (const stack_t *stack) {
  return stack_is_empty (stack) ? NULL : stack->head->
    value;
}
```

- Použití je identické jako v předchozím případě
  - Výhoda spojového seznamu proti implementaci v poli je v (téměř) neomezené kapacitě zásobníku

    Jsem omezen pouze dostupnou pamětí.
  - Nevýhodou spojového seznamu je větší paměťová režie

II. Abstraktní datový typ

Fronta

- Dynamická datová struktura, kde se odebírají prvky v tom pořadí, v jakém byly vloženy

FIFO - First In, First Out

- Implementace
  - Pole
    - Pamatujeme si pozici začátku a konce fronty v poli
    - Pozice cyklicky rotují (modulo velikost pole)
  - Spojový seznam
    - Pamatujeme si ukazatel na začátek a konec fronty
    - Přidáváme na začátek (head) a odebíráme z konce
    - Přidáváme na konec a odebíráme ze začátku (head)
- Z hlediska vnějšího (ADT) chování fronty na vnitřní implementaci nezáleží.

Operace fronty

- Základní operace nad frontou jsou vlastně identické jako pro zásobník
  - `push()` – vložení prvku na konec fronty
  - `pop()` – vyjmutí prvku z čela fronty
  - `isEmpty()` – test na prázdnost fronty
- Další operace mohou být
  - `peek()` – čtení hodnoty z čela fronty
  - `size()` – vrátí aktuální počet prvků ve frontě
- Hlavní rozdíl je v operacích `pop()` a `peek()`, které vracejí nejdříve vložený prvek do fronty.

  Na rozdíl od zásobníku, u kterého je to poslední vložený prvek.

Fronta – definice rozhraní

```
typedef struct {
  ...
} queue_t;

void queue_delete (queue_t **queue);
void queue_free (queue_t *queue);
void queue_init (queue_t **queue);
int queue_push (void *value, queue_t *queue);
void* queue_pop (queue_t *queue);
int queue_is_empty (const queue_t *queue);
void* queue_peek (const queue_t *queue);
```

Fronta – implementace polem 1/2

- Implementace velmi podobná zásobníku v poli
- Zásadní změna ve funkci `queue_push()`

```
int queue_push (void *value, queue_t *queue) {
  int ret = QUEUE_OK;
  if (queue->count < MAX_QUEUE_SIZE) {
    queue->queue[queue->end] = value;
    queue->end = (queue->end + 1) % MAX_QUEUE_SIZE;
    queue->count += 1;
  } else {
    ret = QUEUE_MEMFAIL;
  }
  return ret;
}
```

- Ukládáme na konec (proměnná `end`), která odkazuje na další volné místo (pokud `count < QUEUE_SIZE`)

Fronta – implementace polem 2/2

- Funkce `queue_pop()` vrací hodnotu na indexu start tak jako metoda `queue_peek()`

```
void* queue_pop (queue_t *queue) {
  void* ret = NULL;
  if (queue->count > 0) {
    ret = queue->queue[queue->start];
    queue->start = (queue->start + 1) % MAX_QUEUE_SIZE;
    queue->count -= 1;
  }
  return ret;
}

void* queue_peek (const queue_t *queue) {
  return queue_is_empty(queue) ? NULL : queue->queue[
    queue->start];
}
```

Fronta – implementace spojovým seznamem 1/3

- Spojový seznam s udržováním začátku `head` a konce `end` seznamu
- Strategie vkládání a odebírání prvků
  - Vložením prvku do fronty `queue_push()` dáme prvek na konec seznamu `end`
  - Odebrání prvku z fronty `queue_pop()` vezmeme prvek z počátku seznamu `head`
  - Nemusíme tak lineárně procházet seznam a aktualizovat `end` při odebrání prvku z fronty

```
typedef struct entry {
  void *value;
  struct entry *next;
} queue_entry_t;

typedef struct {
  queue_entry_t *head;
  queue_entry_t *end;
} queue_t;
```

```
void queue_init(queue_t **
    queue) {
  *queue = (queue_t*)malloc
    (sizeof(queue_t));
  (*queue)->head = NULL;
  (*queue)->end = NULL;
}
```

Fronta – implementace spojovým seznamem 2/3

- `push()` vkládá prvky na konec seznamu `end`

```
int queue_push (void *value, queue_t *queue) {
  int ret = QUEUE_OK;
  queue_entry_t *new_entry = (queue_entry_t*) malloc (
    sizeof(queue_entry_t));
  if (new_entry) { // fill the new_entry
    new_entry->value = value;
    new_entry->next = NULL;
    if (queue->end) { // if queue has end
      queue->end->next = new_entry; // link new_entry
    } else { // queue is empty
      queue->head = new_entry; // update head as well
    }
    queue->end = new_entry; // set new_entry as end
  } else
    ret = QUEUE_MEMFAIL;
  return ret;
}
```

Fronta – implementace spojovým seznamem 3/3

```
void* queue_pop (queue_t *queue) {
  void *ret = NULL;
  if (queue->head) { // having at least one entry
    ret = queue->head->value; //retrive the value
    queue_entry_t *tmp = queue->head;
    queue->head = queue->head->next;
    free (tmp);  // release queue_entry_t
    if (queue->head == NULL) { // update end if last
      queue->end = NULL;       // entry has been
    }                          // popped
  }
  return ret;
}

int queue_is_empty (const queue_t *queue) {
  return queue->head == 0;
}
void* queue_peek (const queue_t *queue) {
  return queue_is_empty (queue) ? NULL : queue->head->value;
}
```

Část III

Zadání domácího úkolu

Zadání 7.domácího úkolu (HW07)

Téma: **Kruhová fronta v poli**

- **Motivace:** Práce s pamětí a datovými strukturami
- **Cíl:** Prohloubit si znalost paměťové reprezentace a dynamické alokace paměti s uvolňováním
- **Zadání:** `https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b99prpa/hw/hw07`
  - Implementace kruhové fronty s využitím predalokovaného pole prou
- **Termín odevzdání:** **15.12.2018, 23:59:59**