

Abstraktní datový typ

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 11

B0B36PRP – Procedurální programování

Část I

Část 1 – Abstraktní datový typ

Přehled témat

- Část 1 – Abstraktní datový typ

Datové struktury

Zásobník

Fronta

Zdroje

 Introduction to Algorithms, 3rd Edition, *Cormen, Leiserson, Rivest, and Stein*, The MIT Press, 2009, ISBN 978-0262033848

 Algorithms (4th Edition) *Robert Sedgwick and Kevin Wayne* Addison-Wesley Professional, 2011, ISBN: 978-0321573513

<http://algs4.cs.princeton.edu/home>

- Data Structure & Algorithms Tutorial
http://www.tutorialspoint.com/data_structures_algorithms
- Algorithms and Data Structures with implementations in Java and C++
<http://www.algolist.net>
- Algoritmy jednoduše a srozumitelně
Algoritmy + Datové struktury = Programy
<http://algoritmy.eu>

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
 - Fronta (Queue)
 - Zásobník (Stack)
 - Pole (Array)
 - Tabulka (Table)
 - Seznam (List)
 - Strom (Tree)
 - Množina (Set)

Nezávislé na konkrétní implementaci

Abstraktní datový typ (ADT) – Vlastnosti

- 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
Např. vložení nebo odebrání určitého prvku
- Typ položek (dat):
 - **Homogenní** – všechny položky jsou stejného typu
 - **Nehomogenní** – položky mohou být různého typu
- Existence bezprostředního následníka
 - **Lineární** – existuje bezprostřední následník prvku, např. pole, fronta, seznam, ...
 - **Nelineární** – neexistuje přímý jednoznačný následník, např. strom

Abstraktní datový typ

- Množina druhů dat (hodnot) a příslušných operací, které jsou přesně specifikovány a to **nezávisle na konkrétní implementaci**
- Můžeme definovat:
 - Matematicky – signatura a axiomy
 - Rozhraním (interface) a popisem operací, kde rozhraní poskytuje:
 - Konstruktor vracející odkaz (na strukturu nebo objekt)
Procedurální i objektově orientovaný přístup
 - Operace, které akceptují odkaz na argument (data) a které mají přesně definovaný účinek na data

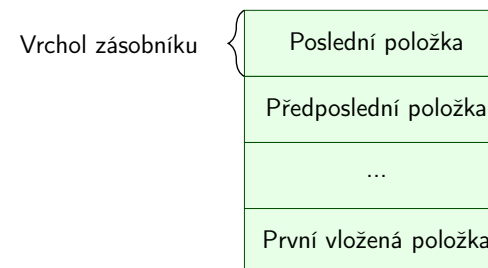
Příklad ADT – Zásobník

Zásobník je **dynamická datová struktura** umožňující vkládání a odebrání hodnot tak, že naposledy vložená hodnota se odebere jako první

LIFO – Last In, First Out

Základní operace:

- Vložení hodnoty na vrchol zásobníku
- Odebrání hodnoty z vrcholu zásobníku
- Test na prázdnotu zásobníku



Příklad ADT – Operace nad zásobníkem

Základní operace nad zásobníkem

- **push()** – vložení prvku na vrchol zásobníku
- **pop()** – vyjmutí prvku z vrcholu zásobníku
- **isEmpty()** – test na prázdnotu zásobníku

Další operace nad zásobníkem mohou být

- **peek()** – čtení hodnoty z vrcholu zásobníku
alternativně také třeba top()
- **search()** – vrátí pozici prvku v zásobníku
Pokud se nachází v zásobníku, jinak -1
- **size()** – vrátí aktuální počet prvků (hodnot) v zásobníku
Zpravidla není potřeba

Příklad ADT – Rozhraní zásobníku 2/2

- Součástí definice rozhraní ADT je také popis chování operací

```

/*
 * Function: stack_push
 * -----
 * This routine push the given value onto the top of the
 * stack.
 * value - value to be placed on the stack
 * stack - stack to push
 * returns: The function returns status value:
 * *
 * OK - success
 * CLIB_MEMFAIL - dynamic memory allocation failure
 *
 * This function requires the following include files:
 * *
 * prp_stack.h prp_errors.h
 */
int stack_push(void *value, void **stack);

```

Příklad ADT – Rozhraní zásobníku 1/2

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

```

int stack_push(void *value, void **stack);
void* stack_pop(void **stack);
_Bool stack_is_empty(void **stack);
void* stack_peek(void **stack);

void stack_init(void **stack); // init. dat. reprezent.
void stack_delete(void **stack); // kompletní smazání
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

Implementace zásobníku

- **Součástí ADT není volba konkrétní implementace** – zásobník můžeme implementovat např.
 - Polem fixní velikosti (definujeme chování při zaplnění)
 - Polem s měnitelnou velikostí (realokace)
 - Spojovým seznamem
- Ukážeme si tři různé implementace, každá se shodným rozhraním a jménem typu **stack_t**, ale definované v samostatných modulech
 - `lec11/stack_array.h, lec11/stack_array.c`
 - `lec11/stack_array_alloc.h, lec11/stack_array_alloc.c`
 - `lec11/stack_linked_list.h, lec11/stack_linked_list.c`
- Dále si ukážeme použití maker preprocesoru a jejich definici při překladu
- Ukázkové implementace také slouží jako demonstrátory jak zacházet s dynamickou pamětí a vyhnout se tzv. unikům paměti (**memory leaks**)

Implementace zásobníku polem 1/3

- Struktura zásobníku 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;
```

- Pro inicializaci a uvolnění paměti implementujeme pomocné funkce

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

- Základní operace se zásobníkem mají tvar

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

- a jsou pro všechny tři implementace totožné `lec11/stack_array.h`

Implementace zásobníku polem 3/3

```
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;
}

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

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

Proč v metodě pop() používáme (--(stack->count)) a v peek() count - 1?
```

Implementace zásobníku polem 2/3

- Maximální velikost zásobníku je definována hodnotou makra

`MAX_STACK_SIZE`

Lze předdefinovat při překladu
Např. clang -DMAX_STACK_SIZE=100

```
#ifndef MAX_STACK_SIZE
#define MAX_STACK_SIZE 5
#endif
```

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

lec11/stack_array.c
```

Zásobník – Příklad použití 1/3

- Položky (hodnoty typu `int`) alokujeme dynamicky

```
int* getRandomInt()
{
    int *r = (int*)malloc(sizeof(int)); // dynamicky alokovaný int
    *r = rand() % 256;
    return r;
}

stack_t *stack;
stack_init(&stack);

for (int i = 0; i < 15; ++i) {
    int *pv = getRandomInt();
    int r = stack_push(pv, stack);
    printf("Add %2i entry '%3i' to the stack r = %i\n", i, *pv, r);
    if (r != STACK_OK) {
        fprintf(stderr, "Error: Stack is full!\n");
        fprintf(stderr, "Info: Release pv memory and quit pushing\n");
        free(pv); // Nutné uvolnit alokovanou paměť
        break;
    }
}

lec11/demo-stack_array.c
```

- V případě zaplnění zásobníku **nezapomenout uvolnit paměť**

Zásobník – Příklad použití 2/3

- Po vyjmutí položky a jejím zpracování je nutné uvolnit paměť

```
printf("\nPop the entries from the stack\n");
while(!stack_is_empty(stack)) {
    int *pv = (int*)stack_pop(stack);
    printf("Popped value is %3i\n", *pv);
    free(pv);
}
stack_delete(&stack);
```

lec11/demo-stack_array.c

- Na závěr uvolníme paměť zásobníku funkcí `stack_delete()`
- Základní kompilace má zásobník pro `MAX_STACK_SIZE` (3) položky

```
!clang stack_array.c demo-stack_array.c && ./a.out
Add 0 entry ' 77' to the stack r = 0
Add 1 entry '225' to the stack r = 0
Add 2 entry '178' to the stack r = 0
Add 3 entry ' 83' to the stack r = 1
Errro: Stack is full!
Info: Release pv memory and quit pushing
```

```
Pop the entries from the stack
Popped value is 178
Popped value is 225
Popped value is 77
```

Implementace zásobníku rozšiřitelným polem 1/3

- V případě naplnění pole vytvoříme nové o „něco“ větší pole, zvětšení je definované hodnotou makra `STACK_RESIZE`
- Počáteční velikost je definována makrem `INIT_STACK_SIZE`

```
#ifndef INIT_STACK_SIZE           #ifndef STACK_RESIZE
#define INIT_STACK_SIZE 3         #define STACK_RESIZE 3
#endif                             #endif

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

- Dále pak funkcí `push()`, kterou modifikujeme o realokaci pole `stack->stack`

Zásobník – Příklad použití 3/3

- Při kompilaci můžeme specifikovat hodnotu makra `MAX_STACK_SIZE`

```
!clang -DMAX_STACK_SIZE=5 stack_array.c demo-stack_array.c && ./a.out
Add 0 entry ' 77' to the stack r = 0
Add 1 entry '225' to the stack r = 0
Add 2 entry '178' to the stack r = 0
Add 3 entry ' 83' to the stack r = 0
Add 4 entry '  4' to the stack r = 0
Add 5 entry '143' to the stack r = 1
Errro: Stack is full!
Info: Release pv memory and quit pushing
```

```
Pop the entries from the stack
Popped value is  4
Popped value is 83
Popped value is 178
Popped value is 225
Popped value is 77
```

lec11/stack_array.h
lec11/stack_array.c
lec11/demo-stack_array.c

- Vyzkoušejte si zakomentovat různá volání `free()` a sledovat chování programu – nástrojem `valgrind!`

Implementace zásobníku rozšiřitelným polem 2/3

- Volání `realloc()` rozliší alokovanou paměť nebo alokuje novou a obsah původní přepokopíruje [Viz man realloc](#)

```
int stack_push(void *value, stack_t *stack)
{
    int ret = STACK_OK;
    if (stack->count == stack->size) { // try to realloc
        void **tmp = (void**)realloc(
            stack->stack,
            sizeof(void*) * (stack->size + STACK_RESIZE)
        );
        if (tmp) { // realloc has been successful, stack->stack
            stack->stack = tmp; // has been freed
            stack->size += STACK_RESIZE;
        }
    }
    if (stack->count < stack->size) {
        stack->stack[stack->count++] = value;
    } else {
        ret = STACK_MEMFAIL;
    }
    return ret;
}
```

lec11/stack_array-alloc.c

Implementace zásobníku rozšiřitelným polem 3/3

- Použití `stack_array-alloc` je identické jako `stack_array`
- Soubor `demo-stack_array-alloc.c` pouze vkládá `stack_array-alloc.h` místo `stack_array.h`

```
clang stack_array-alloc.c demo-stack_array-alloc.c && ./a.out
Add 0 entry ' 77' to the stack r = 0
Add 1 entry '225' to the stack r = 0
Add 2 entry '178' to the stack r = 0
Add 3 entry ' 83' to the stack r = 0
Add 4 entry '  4' to the stack r = 0

Pop the entries from the stack
Popped value is  4
Popped value is 83
Popped value is 178
Popped value is 225
Popped value is 77

lec11/stack_array-alloc.h
lec11/stack_array-alloc.c
lec11/demo-stack_array-alloc.c
```

Implementace zásobníku spojovým seznamem 2/3

- 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;
}
```

- 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;
}
```

lec11/stack_linked_list.c

Implementace zásobníku spojovým seznamem 1/3

- Zásobník také můžeme implementovat spojovým seznamem

Viz 9. přednáška

- Definujeme strukturu `stack_entry_t` pro položku seznamu

```
typedef struct entry {
    void *value; //ukazal na hodnotu vloženého 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;
}
```

Implementace zásobníku spojovým seznamem 3/3

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

```
_Bool 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;
}
```

lec11/stack_linked_list.c

- Použití je identické jako v obou předchozích případech

lec11/demo-stack_linked_list.c

- Výhoda spojového seznamu proti implementaci `stack_array` je v neomezené kapacitě zásobníku *Omezení pouze do výše volné paměti*
- Výhoda spojového seznamu proti `stack_array-alloc` je v automatickém uvolnění paměti při odebrání prvků ze zásobníku
- Nevýhodou spojového seznamu je větší paměťová režie

položka next

ADT – Zásobník příklad použití různých implementací

- S využitím preprocesoru můžeme různé implementace kombinovat v jediném zdrojovém souboru

```
#if STACK_ARRAY
#include "stack_array.h"
#elif STACK_ARRAY_ALLOC
#include "stack_array-alloc.h"
#elif STACK_LINKED_LIST
#include "stack_linked_list.h"
#endif
lec11/demo-stack.c
```

- Při komplikaci musíme definovat jedno z maker a při linkování zvolit konkrétní implementaci (.o soubor nebo .c soubor při společné kompilaci)
 - Pole


```
clang -DSTACK_ARRAY stack_array.c demo-stack.c && ./a.out
```
 - Pole s realokací


```
clang -DSTACK_ARRAY_ALLOC stack_array-alloc.c demo-stack.c && ./a.out
```
 - Spojový seznam


```
clang -DSTACK_LINKED_LIST stack_linked_list.c demo-stack.c && ./a.out
```

ADT – Operace nad frontou

- 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 prázdnotu 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.

Příklad ADT – Fronta

- **Fronta** je dynamická datová struktura, kde se odebírají prvky v tom pořadí, v jakém byly vloženy
- Jedná se o strukturu typu **FIFO** (First In, First Out)

Vložení hodnoty na konec fronty



Odebrání hodnoty z čela fronty

- Implementace
 - Pole – *Pamatujeme si pozici začátku a konce fronty v poli*
 - Pozice cyklicky rotují (modulo velikost pole)
 - Spojovým seznamem — *Pamatujeme si ukazatel na začátek a konec fronty*
 - Můžeme implementovat tak, že přidáváme na začátek (**head**) a odebíráme z konce
 - **push()** a **popEnd()** z 9. přednášky
 - Nebo přidáváme na konec a odebíráme ze začátku (**head**)
 - **pushEnd()** a **pop()** z 9. přednášky
 - Z hlediska vnějšího (ADT) chování fronty na vnitřní implementaci nezáleží

ADT – Příklad implementace fronty

- Implementace fronty pole a spojovým seznamem
- Využijeme shodné rozhraní a jméno typu **queue_t** definované v samostatných modulech
 - **lec11/queue_array.h**, **lec11/queue_array.c**
 - **lec11/queue_linked_list.h**, **lec11/queue_linked_list.c**
 - Implementace vychází ze zásobníku, liší se zejména ve funkci **pop()** a **peek()** spolu s udržováním prvního a posledního prvku.

```
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);
_Bool queue_is_empty(const queue_t *queue);
void* queue_peek(const queue_t *queue);
```

Příklad implementace fronty polem 1/2

- Téměř identická implementace s implementací `stack_array`
- 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 < MAX_QUEUE_SIZE`)

end vždy v rozsahu $0 \leq \text{end} < \text{MAX_QUEUE_SIZE}$

- Dále implementujeme `queue_pop()` a `queue_peek()`

`lec11/queue_array.c`

Příklad implementace fronty polem 2/2

- Funkce `queue_pop()` vrací hodnotou 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];
}
```

`lec11/queue_array.c`

- Příklad použití viz `lec11/demo-queue_array.c`

Příklad implementace fronty spojovým seznamem 1/3

- Spojový seznam s udržováním začátku `head` a konce `end` seznamu
- Strategie vkládání a odebírání prvků *Viz `lec09/linked_list.c`*

- Vložení prvku do fronty `queue_push()` dáme prvek na konec seznamu `end`

Aktualizujeme pouze `end→next` s konstantní složitostí $O(1)$.

- Odebrání prvku z fronty `queue_pop()` vezmeme prvek z počátku seznamu `head`

Aktualizujeme pouze `head→next` opět s konstantní složitostí $O(1)$.

- 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;
}
```

`lec11/queue_linked_list.h`
`lec11/queue_linked_list.c`

Implementace fronty 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;
}
```

`lec11/queue_linked_list.c`

Implementace fronty spojovým seznamem 3/3

```

■ pop() odebírá prvky ze začátku seznamu head
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;
}

■ isEmpty() and peek() je triviální
_Bool 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;
}

```

Shrnutí přednášky

ADT – Fronta spojovým seznamem – příklad použití

```

for (int i = 0; i < 3; ++i) {
    int *pv = getRandomInt();
    int r = queue_push(pv, queue);
    printf("Add %2i entry '%3i' to the queue r = %i\n", i, *pv, r);
    if (r != QUEUE_OK) { free(pv); break; } // release allocated pv
}
printf("\nPop the entries from the queue\n");
while(!queue_is_empty(queue)) {
    int *pv = (int*)queue_pop(queue);
    printf("Popped value is %3i\n", *pv);
    free(pv);
}
queue_delete(&queue);

```

■ Příklad výstupu

```

clang queue_linked_list.c demo-queue_linked_list.c && ./a.out
Add 0 entry ' 77' to the queue r = 0
Add 1 entry '225' to the queue r = 0
Add 2 entry '178' to the queue r = 0

Pop the entries from the queue          lec11/queue_linked_list.h
Popped value is 77                      lec11/queue_linked_list.c
Popped value is 225                     lec11/queue_linked_list.c
Popped value is 178                     lec11/demo-queue_linked_list.c

```

Diskutovaná témata

- Abstraktní datový typ
- ADT typu zásobník (stack)
- ADT typu fronta (queue)
- Příklady implementací zásobníku a fronty
 - polem
 - rozšiřitelným polem
 - a spojovým seznamem
- Příklady rozhraní a implementace ADT s prvky ukazatel a řešení uvolňování paměti
- Příště: Prioritní fronta, halda a příklad hledání nejkratší cesty v grafu.