IAL – 4. přednáška

Vyhledávací tabulky I.

8. a 9. října 2024

Obsah přednášky

- Vyhledávací tabulky
  - ADT Vyhledávací tabulka
  - Hodnocení a klasifikace metod
  - Sekvenční vyhledávání

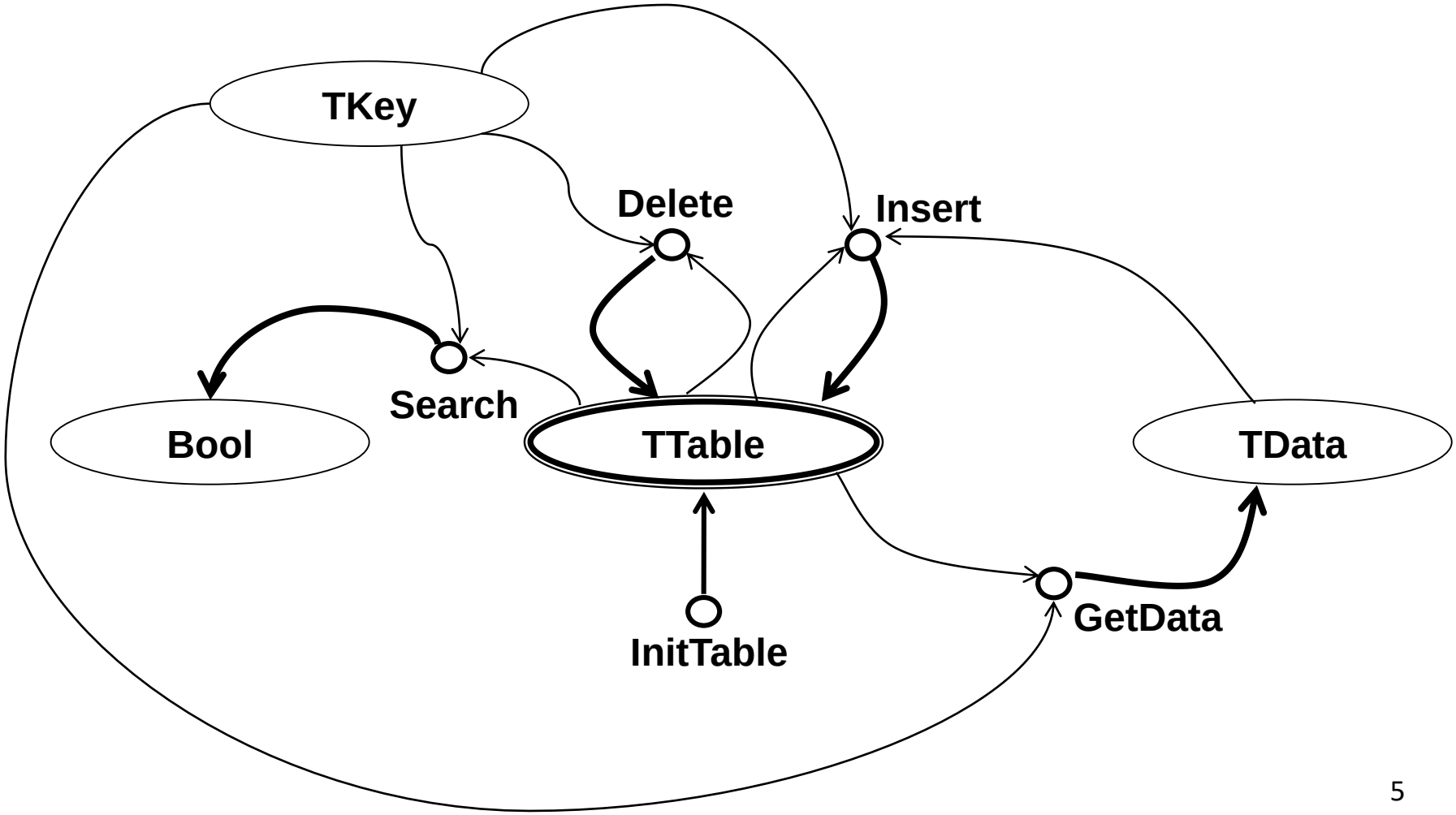
Vyhledávací tabulka

- Search table, Look-up table
- Homogenní, obecně dynamická struktura
- Každá položka má zvláštní složku – **klíč**
- V tabulce s (ostrým) vyhledáváním je hodnota klíče jedinečná (neexistují dvě či více položek se stejnou hodnotou klíče).
- Tabulka je jako *„kartotéka“*, je to základ databází.

ADT TTable – návrh operací

- **Inicializace**: InitTable
- **Vložení** prvku: Insert
- **Zpřístupnění** hodnoty prvku: GetData
- **Aktualizace** hodnoty prvku: Insert
- **Mazání** (rušení) prvku: Delete
- Operace pro **pohyb** po datové struktuře: -
- **Predikát**: Search

ADT TTable – diagram signatury



ADT TTable – sémantika operací

- **InitTable(T)** – inicializuje (vytváří) prázdnou tabulku položek se složkami: klíč **K** typu `TKey` a data **Data** typu `TData`.
- **Insert(T,K,Data)** – vloží položku se složkami **K** a **Data** do tabulky **T**. Pokud tabulka **T** již obsahuje položku s klíčem **K**, dojde k přepisu datové složky **Data** novou hodnotou – **aktualizační sémantika** operace Insert.
- **Delete(T,K)** – zruší prvek s klíčem **K**. Pokud prvek neexistuje, je bez účinku (prázdná operace).
- **Search(T,K)** – predikát, který vrací hodnotu *true*, pokud se v tabulce **T** nachází položka s klíčem **K**, v opačném případě vrací hodnotu *false*.

ADT TTable – sémantika operací

- **GetData(T,K)** – operace vrací hodnotu datové složky položky s klíčem **K**. Pokud položka s klíčem **K** v tabulce **T** neexistuje, dojde k chybě. Operaci je potřeba vždy ošetřit použitím predikátu Search(T,K):

```
if Search(T,K):
    El ← GetData(T,K)
```

- *Pozn.:* Implementace operací pro ADT TTable závisí na zvoleném způsobu organizace dat.

Základní pojmy a klasifikace

- Přístupová doba (angl. *Access Time*)
- Doba vyhledání
  - minimální
  - maximální
  - průměrná/střední
  - **při úspěšném vyhledání**
  - **při neúspěšném vyhledání**
- Vyhledávání v datové struktuře
  - s přímým přístupem
  - se sekvenčním přístupem

Metody implementace tabulky (1/2)

- Sekvenční vyhledávání v **neseřazeném poli**
- Sekvenční vyhledávání v neseřazeném poli se zarážkou
- **Sekvenční** vyhledávání v **seřazeném poli**
- Sekvenční vyhledávání v poli seřazeném podle pravděpodobnosti vyhledání klíče
- Sekvenční vyhledávání v poli s adaptivním uspořádáním podle četnosti vyhledání

Metody implementace tabulky (2/2)

- **Binární** vyhledávání v **seřazeném poli**
  - normální binární vyhledávání
  - Dijkstrova varianta binárního vyhledávání
- Binární vyhledávací stromy (BVS)
- AVL stromy
- Stromy s více klíči ve vrcholech
- Tabulky s rozptýlenými položkami (angl. *Hash tables*) – TRP

Sekvenční vyhledávání

- Dohoda:
  - Pro typ klíče budeme používat nejčastěji identifikátor `TKey`,
  - pro název klíčové složky položky tabulky identifikátor `key`,
  - a pro hodnotu vyhledávaného klíče identifikátor `k`.
- Nad typem `TKey` rozlišujeme dva typy relací:
  - Relace rovnosti
  - Relace uspořádání
- Pro sekvenční vyhledávání stačí, aby nad typem `TKey` byla definována relace rovnosti.

Vyhledávací algoritmus

- Základní struktura vyhledávacího algoritmu:

```
found ← false
while (not found and <množina prvků není vyčerpána>):
      <prozkoumej další prvek, a je-li to hledaný,
      proveď found ← true>
Search ← found
```

Vyhledávací algoritmus

- Pozor na ošetření konce cyklu – možné řešení:

```
found ← false
i ← 0
while not found and (i < max):
    if k = array[i].key:
      found ← true
    else:
      i ← i+1
Search ← found
```

Vyhledávací algoritmus

- Pozor na ošetření konce cyklu – nevhodné řešení:

```
i ← 0
while (k ≠ array[i].key) and (i < max):
        i ← i+1
Search ← k = array[i].key
```

- Pokud hledaný klíč v poli není, dojde k přístupu na adresu za hranicí pole!
  - Toto řešení lze použít pouze pokud prohodíme použité podmínky a použijeme zkratové (neúplné) vyhodnocování booleovských výrazů.

Vyhledávací algoritmus

- Zkratové vyhodnocování booleovských výrazů:
  - `B1 and B2 and B3 and ... and BN`
    ⇒ je-li B1 *false*, vše je *false*
  - `B1 or B2 or B3 or ... or BN`
    ⇒ je-li B1 *true*, vše je *true*
- Vyhledávací algoritmus pak může mít tvar:

```
i ← 0
// zkratové vyhodnocení Booleovského výrazu
while (i < max) and (k ≠ array[i].key):
    i ← i+1
Search ← i < max
```

Vyhledávací algoritmus

- Ošetření konce cyklu v seznamu – možné řešení:

```
found ← false
while not found and ptr ≠ NULL:
    if k = ptr->key:
        found ← true
    else:
        ptr ← ptr->nextPtr
```

- Využití neúplného vyhodnocení logického výrazu:

```
... while (ptr ≠ NULL) and (k ≠ ptr->key):
        ...
```

Vyhledávací algoritmus

- Špatné ošetření konce cyklu:

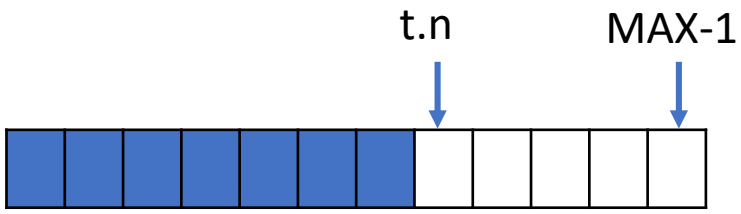
```
ptr ← l.first
while (k ≠ ptr->key) and (ptr ≠ NULL):
        // chybná reference
    ptr ← ptr->nextPtr
```

Sekvenční vyhledávání – implementace

- Definujeme následující datové typy:

```
#define MAX …

typedef struct telem
{                       // typ položky tabulky
    TKey key;
    TData data;
}TElem;
```




```
typedef struct ttable
{                       // typ tabulka implementovaná polem
    TElem array[MAX]; // pole tabulky
    int n;              // aktuální počet prvků v tabulce
}TTable;
```

Operace Search

```
bool function Search (TTable t, TKey k)
  found ← false
  i ← 0
  while not found and (i < t.n):
    if k = t.array[i].key:
      found ← true
    else:
      i ← i+1
  return (found)
```

Varianta Search pro vkládání

- Varianta operace Search, která vrací polohu (index) hledaného prvku:

```
(bool, int) function SearchInd (TTable t, TKey k)
  found ← false
  i ← 0
  while not found and (i < t.n):
     if k = t.array[i].key:
        found ← true
     else:
        i ← i+1
  where ← i          // pro not found je i nedefinováno
  return (found, where)
```

Operace Insert

```
bool function Insert (TTable t, TElem el)
  overflow ← false                    // příznak plné tabulky
  found, where ← SearchInd(t, el.key)
  if found:
    t.array[where] ← el  // přepsání staré položky
  else:
    if t.n < MAX:              // je místo - vkládáme
      t.array[t.n] ← el
      t.n ← t.n+1
    else:
      overflow ← true // nelze vložit - přetečení
  return (not overflow)
```

Operace Delete

```
procedure Delete (TTable t, TKey k)
  found, where ← SearchInd(t,k)
  if found:                    // rušený je přepsán posledním
      t.array[where] ← t.array[t.n-1]
      t.n ← t.n-1
```

- Operaci **Delete** lze také implementovat zaslepením:
  - Klíč rušené položky se přepíše hodnotou, která se nikdy nebude vyhledávat.
  - Snižuje aktivní kapacitu tabulky!

Hodnocení sekvenčního vyhledávání

- Minimální čas úspěšného vyhledání: 1
- Maximální čas úspěšného vyhledání: n
- Průměrný čas úspěšného vyhledání: n/2
- Čas neúspěšného vyhledání: n

- Nejrychleji jsou vyhledány položky, které jsou na začátku tabulky.

Sekvenční vyhledávání se zarážkou

- **Zarážka** (*sentinel*, *guard*, *stop-point*):
  - Dovoluje vynechat test na konec pole.
  - Sníží efektivní kapacitu tabulky o jednu položku.
  - Vynecháním testu na konec se algoritmus zrychlí.

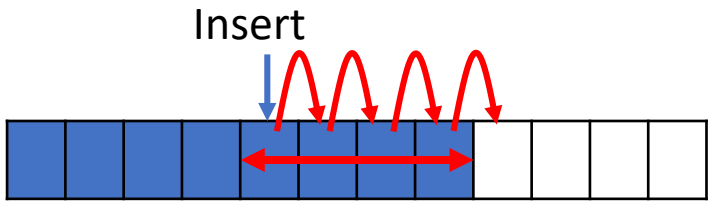
```
bool function SearchG (TTable t, TKey k)
  i ← 0
  t.array[t.n].key ← k      // vložení zarážky
  while k ≠ t.array[i].key:
      i ← i+1
  return (i ≠ t.n)
      // když našel až zarážku, tak vlastně nenašel ...
```

Sekvenční vyhledávání v seřazeném poli

- Pole je seřazeno podle velikosti klíče:
  - Nad typem klíč musí být definována relace uspořádání.
- Operace **Search**:
  - Skončí neúspěšně, jakmile narazí na položku s klíčem, který je větší než hledaný klíč.
  - Urychlí se pouze neúspěšné vyhledávání!
- Operace **Insert** a **Delete**:
  - Musí zachovat uspořádání pole!
  - Vyžadují proto posuny segmentů pole!

Sekvenční vyhledávání v seřazeném poli

- Operace **Insert**:
  - Musí najít správné místo pro vložení prvku.
  - Segment pole od nalezeného místa se musí posunout o jednu pozici vpravo.



- Operace **Delete**:
  - Segment pole vpravo od mazaného prvku se musí posunout o jednu pozici vlevo – přepíše rušený prvek.

Posuny segmentů pole

- Posun segmentu doprava se provede cyklem zprava (od konce pole) – posun segmentu `[low..(high-1)]` o jednu pozici doprava:

```
for i ← (high, low+1)^-1:
  t.array[i] ← t.array[i-1]
```

Seřazení pole – četnost vyhledávání

- V praxi jsou často některé položky vyhledávány mnohem častěji než ostatní – při použití sekvenčního vyhledávání se vyplatí tyto položky umístit na začátek pole, aby byly nalezeny rychleji.
- Seřazení pole podle četnosti vyhledávání:
  - Jednou za čas – lze realizovat pomocí počitadla, které se aktualizuje po každém přístupu k položce.
  - Průběžně – adaptivní rekonfigurace podle četnosti vyhledávání – při každém přístupu k položce se položka vymění se svým levým sousedem (pokud existuje).

Seřazení pole – četnost vyhledávání

- Při adaptivní rekonfiguraci je součástí operace **Search** při úspěšném vyhledání příkaz:

```
if where > 0:
  t.array[where] ↔ t.array[where-1]
```

- *Pozn.:* zápis `A ↔ B` označuje operaci výměny hodnot, kterou je obvykle potřeba realizovat trojicí příkazů a pomocnou proměnnou. Tuto operaci je v rámci IAL možné použít vždy pro usnadnění zápisu.