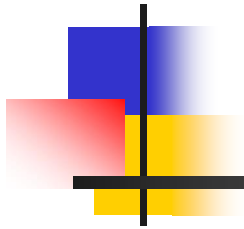


Lineárne dátové štruktúry

(Parametrický polymorfizmus)



Peter Borovanský
KAI, I-18

borovan 'at' ii.fmph.uniba.sk

<http://dai.fmph.uniba.sk/courses/JAVA/>



Triedy a objekty

dnes bude:

- trieda **Object**,
- klonovanie a boxovanie,
- generics (generické typy) - parametrický polymorfizmus,
- **interface a implementation**,
- výnimky na príkladoch, **throw(s), try catch (Exception)**,
- príklady lineárnych dátových štruktúr
 - interface pre front, balík, ...
 - implementácie: polia, jednoduché a obojsmerne spájané zoznamy

cvičenia:

- interface a implementation pre ADT
- parametrické typy

literatúra:

- <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/java/generics/index.html>,
- <http://java.sun.com/j2se/1.5/pdf/generics-tutorial.pdf>,



Prvý Stack

(motivačný príklad)

- vytvoríme zásobník ako triedu Stack
- implementuje operácie push, pop, ...
- s obmedzeniami:
 - na maximálnu veľkosť zásobníka,
 - typ prvkov v zásobníku,
 - neošetrené chybové stavy

```
public class Stack {  
    protected int[] S;  
    protected int top = -1;  
  
    public Stack(int size) {  
        S = new int[size];  
    }  
    public boolean isEmpty() {  
        return top < 0;  
    }  
    public void push(int element) {  
        if (top+1 == S.length) // test, kedy už nemôžeme pridať prvok  
            System.out.println("Stack is full"); // vypíš chybu  
        else // ak môžeme  
            S[++top] = element; // tak pridáme  
    }  
    // reprezentácia ako pole int  
    // vrchol zásobníka, index vrchného prvku  
    // konštruktor vytvorí pole int[] veľkosti  
    // size  
    // test, či zásobník neobsahuje prvky
```

Prvý Stack – pokračovanie



```
public int pop() {  
    int element;  
    if (isEmpty()) {  
        System.out.println("Stack is empty"); // vypíš chybu  
        return -1; // nevieme čo vrátiť, tak "čokoľvek":int  
    }  
    element = S[top--];  
    return element;  
}  
}
```

```
public class StackMain {  
    public static void main(String[] args) {  
        final int SSIZE = 100;  
        Stack s = new Stack(SSIZE);  
        for(int i=0; i<SSIZE; i++)  
            s.push(i);  
        while (!(s.isEmpty()))  
            System.out.println(s.pop());  
    }  
}
```

99
98
...
6
5
4
3
2
1
0

Súbor:StackMain.java



Čo s obmedzeniami

Zamyslenie nad predchádzajúcim príkladom:

- fixná veľkosť poľa pre reprezentáciu zásobníka
 - dynamická realokácia (už sme to kedysi videli),
 - na budúce prídu java-hotové štruktúry: Vector, ArrayList, ...
 - použiť štruktúru, ktorej to nevadí (napr. spájané zoznamy),
- typ prvkov je obmedzený (na int) v implementácii
(ako sa rozumne vyhnúť kopírovaniu kódu, ak potrebujeme zásobníky double, String, alebo užívateľom definované typy Ratio, Complex, ...):
 - nájsť "matku všetkých typov" (trieda Object),
 - zaviesť parametrické typy – parametrický polymorfizmus (generics),
- chybové stavy
 - chybové hlášky a „hausnumerické“ výstupné hodnoty,
 - výnimky (definícia výnimky, vytvorenie a odchytenie výnimky)



Trieda Object

- class Object je nadtrieda všetkých tried
- vytvoríme heterogénny zásobník pre elementy ľubovoľného typu
- implementácia v poli,
- realokácia pri pretečení

```
public class StackObj {  
    protected Object[] S;           // reprezentácia ako pole Object-ov  
    protected int top;              // vrchol  
  
    public StackObj (int Size) {     // konštruktor naalokuje pole Object-ov  
        S = new Object[Size];       // požadovanej veľkosti  
        top = 0;  
    }  
    public boolean isEmpty () {  
        return top == 0;  
    }  
    public void push (Object item) { // push netestuje pretečenie ☹  
        S[top++] = item;  
    }  
    public Object pop () {           // ani pop netestuje podtečenie ☹  
        return S[--top];  
    }  
}
```

Súbor:StackObj.java



Pretečenie poľa realokácia

- implementácia v poli, čo „puchne“
- ak sa pokúsime pretypovať hodnotu z typu Object na iný (napr. String), môžeme dostať **runtime** cast exception

```
public void push (Object item) {  
    if (top == S.length) {                // problém pretečenia  
        Object[] newS = new Object[S.length * 2];    // naalokuj pole 2*väčšie  
        for (int i=0; i<S.length; i++) newS[i] = S[i]; // presyp  
        S = newS;                            // poves miesto starého poľa  
    }  
    S[top++] = item;                        // a konečne pridaj prvok
```

```
StackObj pd = new StackObj(SSIZE);  
pd.push(new Integer(123456)); // heterogénny stack  
pd.push("ahoj");              // zoženie Integer aj String  
String str = (String)pd.pop(); System.out.println(str);  
Integer num = (Integer)pd.pop(); System.out.println(num);  
ak posledné dva riadky vymeníme, runtime cast exception,  
lebo "ahoj", nie je Integer ani 123456 nie je String
```

ahoj
123456

- takto sa programovalo do verzie 1.4
- potom prišli generics - templates(C++)
a parametrické dátové typy

Trieda Object

nadtrieda všetkých tried, ale inak normálna trieda, napr.

```
Object[] S = new Object[Size];
```

- pretypovanie **do triedy Object**

ak $x : E$, potom $(Object)x : Object$ – explicitne,
resp. $x : Object$ – implicitne

- pretypovanie **z triedy Object**

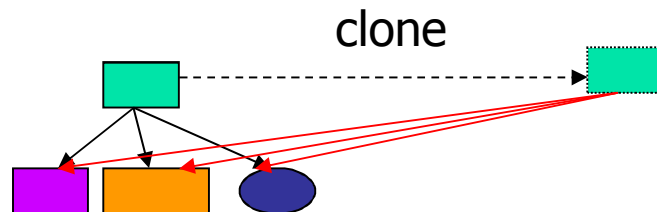
ak $o : Object$ a hodnotou je objekt triedy E , potom $(E)o : E$
explicitný *cast* predstavuje typovú kontrolu v runtime,
napr. $(Integer)o : Integer$, $(String)o : String$

ak však hodnota objektu o nie je triedy E , potom runtime check
 $(E)o$ zlyhá (cast exception)

- primitívne typy (int, double, boolean, ...) **boxujeme** do skutočných tried (Integer, Double, Boolean, ...)

Čo vie každý Object

- **String toString()** - textová reprezentácia,
- **int hashCode()** - pretransformuje referenciu na objekt na int, vráti,
- **void finalize()** - deštruktor volá garbage collector,
- **Class getClass()** – vráti Class objekt (triedy Class),
- **Object clone()** – vytvorí nerekurzívnu kópiu objektu, ak objekt je z klonovateľnej triedy (Cloneable), inak CloneNotSupportedException. Polia, Integer, String sú klonovateľné. Nerekurzívna (shallow):

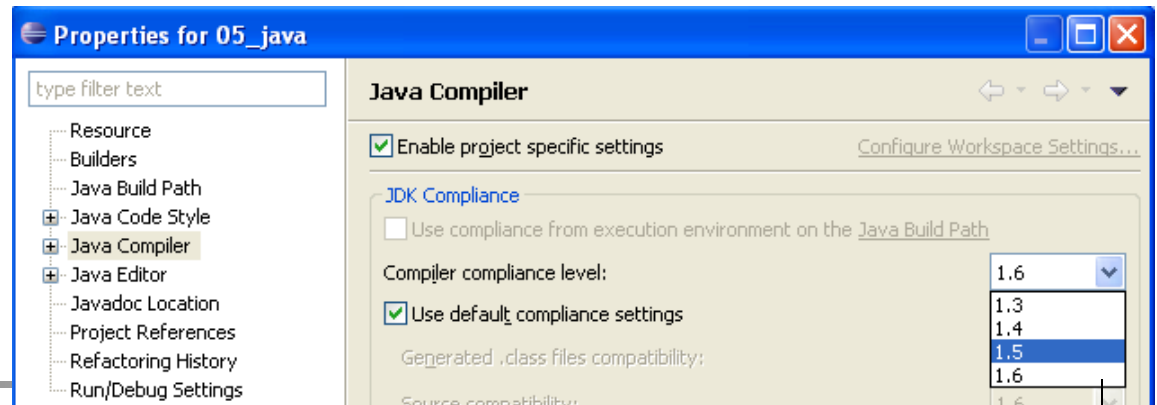


- **boolean equals(Object obj)** – porovná referencie na objekty,

`x.clone() != x`

`x.clone().getClass() == x.getClass()`

Generics



```
public class Stack50<E> {  
    protected E[] S;  
    protected int top;  
  
    public Stack50(int Size) {  
        S = (E[]) new Object[Size];  
        top = 0;  
    }  
    public boolean isEmpty() {  
        return top == 0;  
    }  
    public void push(E item) {  
        S[top++] = item;  
    }  
    public E pop() {  
        return S[--top];  
    }  
}
```

Ak ich nemáte zapnuté,
zapnite si ich

použitím typovej premennej
sa z definície triedy, metódy, ...
stáva šablóna, do ktorej
skutočný typ musíme dosadiť

Súbor:Stack50.java



Stack50

- hlavným rozdielom je, že Stack50 je homogénny, všetky prvky sú tohoistého typu
- ak však naozaj treba miešať typy, Stack50<Object> je to, čo sme mali

```
public class Stack50<E> {  
    protected E[] S;  
    protected int top;
```

```
    public Stack50(int Size) {  
        S = (E[]) new Object[Size];  
        // toto nejde: S = new E[Size]; // kvôli typovej bezpečnosti  
        top = 0;  
    }
```

```
        Stack50<String> st50 =                // E = String  
            new Stack50<String>(SSIZE);  
        st50.push("caf");  
        st50.push("hello");  
        st50.push("salut");  
        // st50.push(new Integer(12345)); // String != Integer  
        System.out.println(st50.pop());
```

Súbor:Stack50.java



Boxovanie

V Jave (na rozdiel od C#) nemožno vytvoriť generický typ parametrizovaný primitívnym typom:

Stack50<**int**> je ilegálny typ

miesto toho treba:

Stack50<Integer> je legálny typ

Primitívne typy: byte, short, int, long, float, double, ...

Referenčný typ: trieda

Boxovanie typov: int->Integer, float->Float, double->Double,...

```
int bb = 5;                // primitivny typ, modifikovateľný  
Integer cc = new Integer(15); // trieda/objekt, nemodifikovateľný
```

```
bb = cc;                   // bb = cc.intValue();  
cc = bb;                   // cc = new Integer(bb);
```



Kovariancia a polia

- generics sa realizujú v kompilátore, výsledný byte kód je negenerický,
- generics nie je makro, ktoré sa expanduje (ako templates v C++),
- kovariancia znamená, že ak T1 je podtrieda T2, tak $\psi(T1)$ je podtrieda $\psi(T2)$
- logicky... , polia sú kovariantné, t.j. T1[] je podtriedou T2[], príklad:

z predošlého slajdu:

E[] je podtrieda Object[], lebo E je podtrieda Object

iný príklad

nech Podtrieda je podtriedou Nadtrieda:

```
Podtrieda[] a = { new Podtrieda(), new Podtrieda()};
```

```
Nadtrieda[] b = a; // kovariancia polí, lebo Podtrieda[] podtrieda Nadtrieda[]
```

```
// Podtrieda[] c = b; nejde, lebo neplatí Nadtrieda[] podtrieda Podtrieda[]
```



Nekovariancia generických typov

- na prvý pohľad nelogický, ale generické typy nie sú kovariantné, napr. `Stack50<T1>` **NIE JE** podtriedou `Stack50<T2>`, ak `T1` je pod `T2`.
-

Ak by to tak bolo:

```
Stack50<Podtrieda> stA = new Stack50<Podtrieda>(100);  
stA.push(new Podtrieda());
```

```
Stack50<Nadtrieda> stB = stA;
```

```
// ak by to tak bolo, tak toto by išlo  
// ale ono to v skutočnosti nejde...
```

- dôvod (nabúrame typovú kontrolu):
`stB.push(new Nadtrieda());`

```
// ak by sme to dopustili, potom  
// je korektný výraz, ktorý pomieša  
// objekty Podtriedy a Nadtriedy v stB  
// Stack50 už nie je homogénny
```



Dôsledky kovariancie

keďže polia sú kovariantné, generics nie, potom nie je možné vytvoriť pole prvkov generického typu, napríklad:

```
// S = new E[Size];           // vid' konštruktor Stack50  
alebo                         // je síce korektná deklarácia  
Stack50<Integer>[] p;         // ale nekorektná alokácia  
// p = new Stack50<Integer>[5]; // cannot create generic array
```

-
- dôvod (ak by to išlo, takto nabúrame typovú kontrolu):
Object[] pObj = p; // Stack50<Integer> je podtrieda Object, preto
// z kovariancie Stack50<Integer>[] je podtrieda Object[]
// vytvoríme malý stack Stack50<String>
Stack50<String> stS = new Stack50<String>(100);
stS.push("bude problem"); // s elementmi typu String

pObj[0] = stS; // pObj[0]:Object, stS: Stack50<String>
Integer i = pObj[0].pop(); // "bude problem" nie je typu Integer,
// lebo pObj[0] nie je Stack50<Integer> ale
// Stack50<String>



Generické metódy

Nie len celá definícia triedy (ADT) môže byť parametrizovaná typom, ale aj jednotlivá metóda či konštruktor v neparametrickej triede.

```
public static <T> String genMethod(T value) {  
    System.out.println(value.getClass());  
    return value.toString();  
}
```

```
public static <E> void printArray(E[] p) {  
    for ( E elem : p )  
        System.out.print( elem + "," );  
    System.out.println();  
}  
System.out.println(genMethod(1));  
System.out.println(genMethod("wow"));  
Integer[] p = {1,2,3}; System.out.println(genMethod(p)); printArray(p);  
Double[] r = {1.1,2.2,3.3}; System.out.println(genMethod(r)); printArray(r);
```

```
class java.lang.Integer  
1  
class java.lang.String  
wow  
class [Ljava.lang.Integer;  
[Ljava.lang.Integer;@42e..  
1,2,3,  
class [Ljava.lang.Double;  
[Ljava.lang.Double;@930..  
1.1,2.2,3.3,
```




Generické metódy

Použitie generického typu môže byť ohraničené kvalifikátormi na typový parameter, napr. metóda `genMethod2` sa dá použiť len pre číselné typy, t.j. typy podedené z typu `Number` (`BigDecimal`, `BigInteger`, `Byte`, `Double`, `Float`, `Integer`, `Long`, `Short`)

```
public static <T extends Number> T genMethod2(T value) {  
    System.out.println(value.getClass());  
    return value;  
}
```

```
System.out.println(genMethod2(1));  
//System.out.println(genMethod2("wow"));  
System.out.println(genMethod2(Math.PI));  
}
```

```
class java.lang.Integer  
1  
class java.lang.Double  
3.141592653589793
```

Interface pre Stack

Definícia interface predpisuje metódy, ktoré implementátor musí zrealizovať

```
public interface StackInterface<E> {  
    public int size();  
    public boolean isEmpty();  
    public E top() throws EmptyStackException;  
    public void push (E element) throws FullStackException;  
    public E pop() throws EmptyStackException;  
}
```

```
public class EmptyStackException extends RuntimeException {  
    public EmptyStackException(String err) {  
        super(err);  
    }  
}
```

```
public class FullStackException extends RuntimeException {  
    public FullStackException(String err) {  
        super(err);  
    }  
}
```

Súbory: StackInterface.java,
EmptyStackException.java
FullStackException.java



Implementation - ArrayStack

Implementujeme poľom parametrický zásobník s výnimkami:

```
public class ArrayStack<E> implements StackInterface<E> {  
    protected int capacity;  
    protected E S[];                // reprezentácia  
    protected int top = -1;  
  
    public ArrayStack(int cap) {      // konštruktor pre Stack danej veľkosti  
        capacity = cap;  
        S = (E[]) new Object[capacity];  
    }  
  
    public void push(E element) throws FullStackException {  
        if (size() == capacity)      // ak už nemôžem pridať  
            throw new FullStackException("Stack is full."); // hodím výnimku  
        S[++top] = element;          // inak pridám  
    }  
}
```

Súbor: ArrayStack.java



ArrayStack - pokračovanie

```
public E top() throws EmptyStackException {  
    if (isEmpty()) // ak je prázdny  
        throw new EmptyStackException("Stack is empty."); // výnimka  
    return S[top];  
}  
public E pop() throws EmptyStackException {  
    E element;  
    if (isEmpty()) // ak niet čo vybrať  
        throw new EmptyStackException("Stack is empty."); // výnimka  
    element = S[top];  
    S[top--] = null; // odviazanie objektu S[top] pre garbage collector  
    return element;  
}
```

```
ArrayStack<String> B = new ArrayStack<String>();  
B.push("Boris");  
B.push("Alenka");  
System.out.println((String)B.pop());  
B.push("Elena");  
System.out.println((String)B.pop());
```

Súbor:ArrayStack.java

Vagóniková implementácia



- implementácia pomocou poľa nie je jediná, a má niektoré nedostatky
- chceme implementovať zásobník ako spájaný zoznam
- v C++/Pascale sme na to potrebovali pointer

```
typedef struct node {
```

```
    int element;
```

```
    node *next;
```

// pointer na nasledujúci vagónik zásobníka

```
};
```

- v Java

```
public class Node {
```

```
    private int element;
```

```
    private Node next;
```

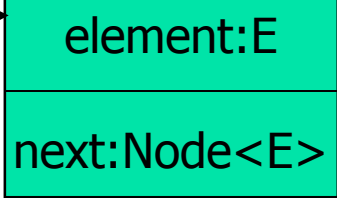
// referencia na nasledujúci vagónik zásobníka

```
}
```

Iná implementácia, pomocou
pospájaných krabíc typu Node

Spájaný zoznam - Node

```
public class Node<E> {  
    private E element;           // reprezentácia krabice  
    private Node<E> next;  
  
    public Node() { this(null, null); }  
  
    public Node(E e, Node<E> n) { // konštruktor krabice typu Node  
        element = e;  
        next = n;  
    }  
    // enkapsulacia: accessor (get) a modifier (set)  
    public E getElement() {  
        return element;  
    }  
    public Node<E> getNext() {  
        return next;  
    }  
}  
  
    public void setElement(E newElem) {  
        element = newElem;  
    }  
    public void setNext(Node<E> newNext) {  
        next = newNext;  
    }  
}
```



Súbor:Node.java



NodeStack - implementation

```
public class NodeStack<E> implements StackInterface<E> {  
    protected Node<E> top; // reprezentácia triedy NodeStack  
    protected int size;    // ako pointer na prvú krabicu  
  
    public NodeStack() { top = null; size = 0; } // prázdny stack  
  
    public int size() {  
        return size; // pamätáme si dĺžku, aby sme ju nemuseli počítat'  
    }  
    public boolean isEmpty() { // test na prázdny stack  
        return size==0;  
    }  
    public void push(E elem) { // push už nemá problém s pretečením  
        Node<E> v = new Node<E>(elem, top); // vytvor novú krabicu elem+top  
        top = v; // tá sa stáva vrcholom stacku  
        size++; // dopočítaj size  
    }  
}
```

Súbor:NodeStack.java



NodeStack – pokračovanie

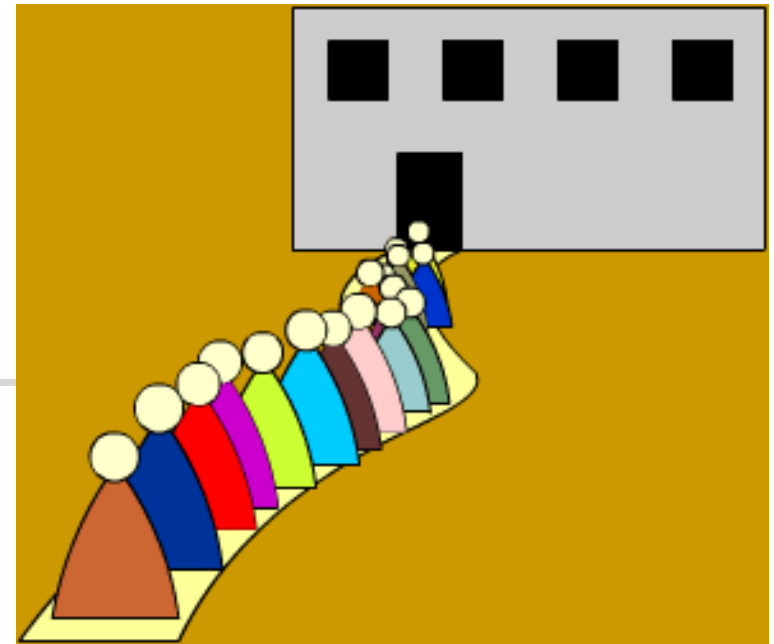
```
public E top() throws EmptyStackException {  
    if (isEmpty()) throw new EmptyStackException("empty.");  
    return top.getElement();           // daj hodnotu prvého prvku  
}  
public E pop() throws EmptyStackException {  
    if (isEmpty()) throw new EmptyStackException("empty.");  
    E temp = top.getElement();         // zapamätaj si vrchnú hodnotu  
    top = top.getNext();               // zahod' vrchnú krabicu  
    size--;                           // dopočítaj size  
    return temp;  
}  
}
```

```
NodeStack<Integer> sn = new NodeStack<Integer>();  
for(int i=0; i<10; i++)  
    sn.push(i);  
while (!sn.isEmpty())  
    System.out.println(sn.pop());
```

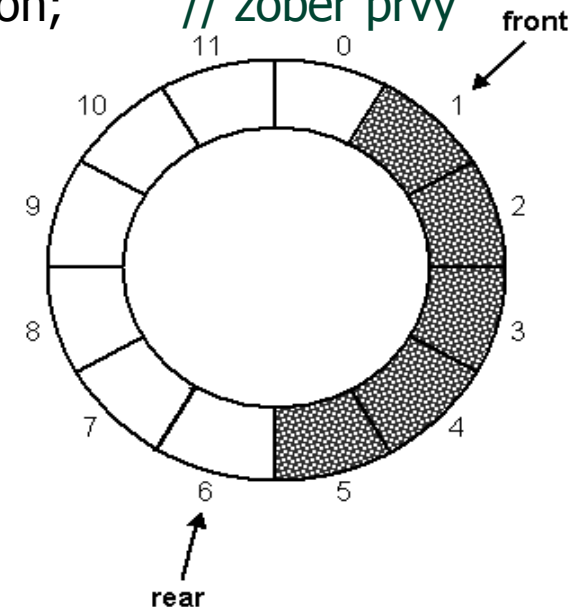
Súbor:NodeStack.java

Queue - interface

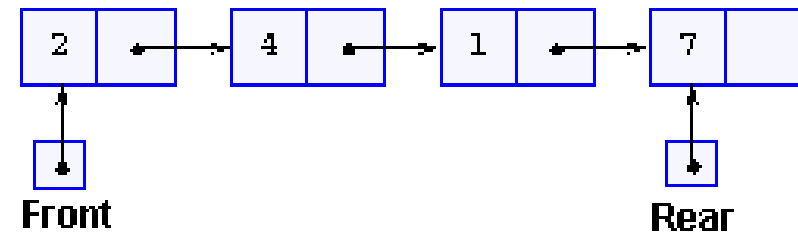
```
public interface QueueInterface<E> {  
    public int size();  
    public boolean isEmpty();  
    public E front() throws EmptyQueueException;  
    public void enqueue (E element);  
    public E dequeue() throws EmptyQueueException;  
}
```



// prvý
// pridaj posledný
// zober prvý



Queue



Reprezentácia:

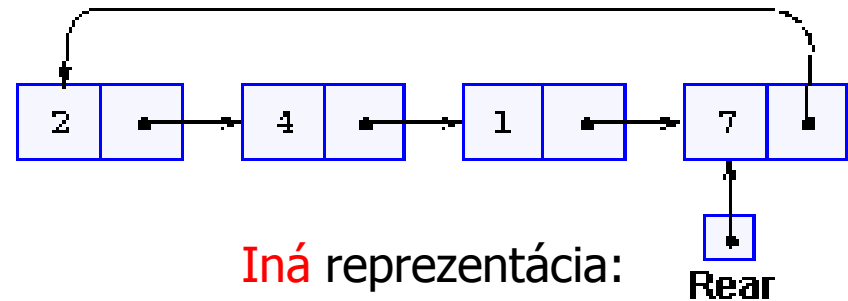
```
public void enqueue(E elem) {
    Node<E> node = new Node<E>();
    node.setElement(elem);
    node.setNext(null);
    if (size == 0) // prvý prvok prázdneho frontu
        front = node;
    else
        rear.setNext(node);
    rear = node;
    size++;
}
```

```
Node<E> front; // prvý
Node<E> rear;  // posledný
int size = 0;  // veľkosť
```

```
public E dequeue() throws EmptyQueueException {
    if (size == 0)
        throw new
            EmptyQueueException("Queue is empty.");
    E tmp = front.getElement();
    front = front.getNext();
    size--;
    if (size == 0) // bol to posledný prvok frontu
        rear = null;
    return tmp;
}
```

Súbor: Queue.java

Queue2



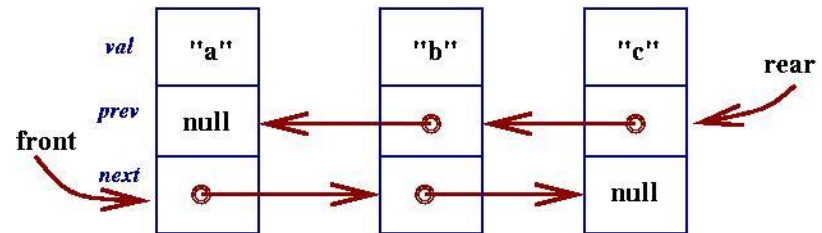
Iná reprezentácia:
`Node<E> rear;`
`int size = 0;`

```
public void enqueue(E elem) {  
    Node<E> node = new Node<E>();  
    node.setElement(elem);  
    if (size == 0)  
        node.setNext(node);  
    else {  
        node.setNext(rear.getNext());  
        rear.setNext(node);  
    }  
    rear = node;  
    size++;  
}
```

```
public E dequeue()  
    throws EmptyQueueException {  
    if (size == 0)  
        throw new EmptyQueueException(  
            "Queue is empty.");  
    size--;  
    E tmp = rear.getNext().getElement();  
    if (size == 0)  
        rear = null;  
    else  
        rear.setNext(rear.getNext().getNext());  
    return tmp;  
}
```

Súbor: Queue2.java

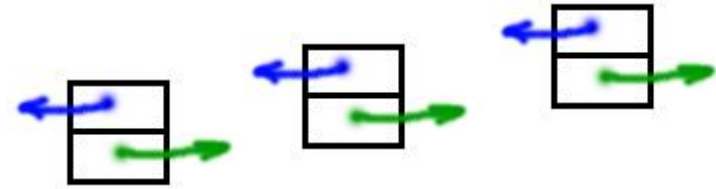
Balík - interface



```
public interface DequeInterface<E> {  
  
    public int size();  
    public boolean isEmpty();  
  
    public E getFirst() throws EmptyDequeException;  
    public E getLast() throws EmptyDequeException;  
  
    public void addFirst (E element);  
    public void addLast (E element);  
  
    public E removeFirst() throws EmptyDequeException;  
    public E removeLast() throws EmptyDequeException;  
}
```

Súbor: DeuqueInterface.java

DLNode

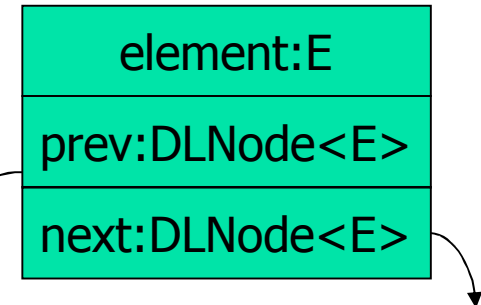


```
public class DLNode<E> {  
    private E element;  
    private DLNode<E> prev, next;
```

// obojsmerne spájaný zoznam

```
    public DLNode() { this(null, null, null); }  
    public DLNode(E e, DLNode<E> p, DLNode<E> n) {  
        element = e;  
        next = n;  
        prev = p;  
    }  
    public E getElement() { return element; }  
    public DLNode<E> getNext() { return next; }  
    public void setElement(E newElem) {  
        element = newElem;  
    }  
}
```

.....



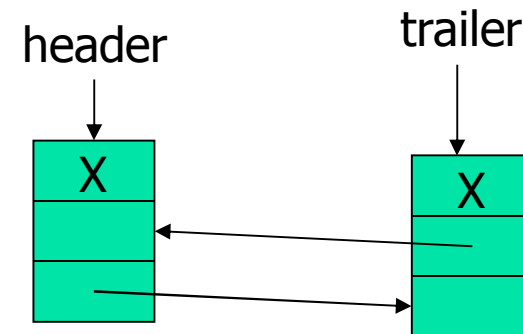
Balík – implementácia

```
public class Deque<E> implements DequeInterface<E> {
```

```
    protected DLNode<E> header, trailer; // reprezentácia balíka dvomi  
    protected int size;                  // pointerami na zač. a koniec
```

```
    public Deque() { // konštruktor  
        header = new DLNode<E>();  
        trailer = new DLNode<E>();  
        header.setNext(trailer);  
        trailer.setPrev(header);  
        size = 0;  
    }
```

```
    public E getFirst() throws Exception {  
        if (isEmpty()) throw new Exception("Deque is empty.");  
        return header.getNext().getElement();  
    }
```



Súbor: DequeInterface.java



Balík - implementácia

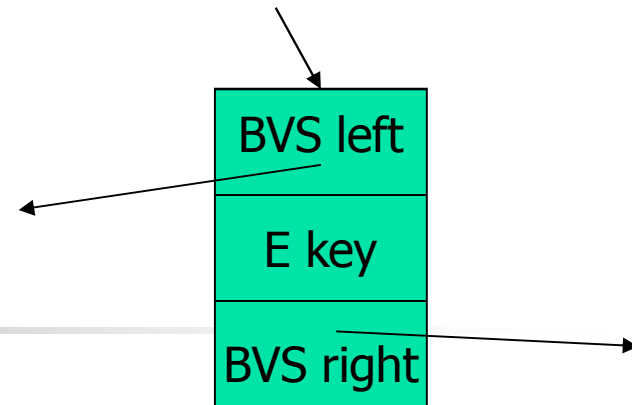
```
public void addFirst(E o) {
    DLNode<E> second = header.getNext();
    DLNode<E> first = new DLNode<E>(o, header, second);
    second.setPrev(first);
    header.setNext(first);
    size++;
}
public E removeLast() throws Exception {
    if (isEmpty()) throw new Exception("Deque is empty.");
    DLNode<E> last = trailer.getPrev();
    E o = last.getElement();
    DLNode<E> secondtolast = last.getPrev();
    trailer.setPrev(secondtolast);
    secondtolast.setNext(trailer);
    size--;
    return o;
}
```

Súbor: Deque.java



BVSNode

parametrizovateľný model:



```
public class BVSNode<E extends Comparable<E>> {  
    BVSNode left;  
    E key;  
    BVSNode right;  
    public BVSNode(E key) { // konštruktor  
        this.key = key;  
        left = right = null;  
    }  
}
```

- Comparable (**Comparable<E>**) je interface predpisujúci jedinú metódu:
int compareTo(Object o), **<E>int compareTo**(E e)
- základné triedy implementujú interface Comparable (ak to dáva zmysel):
Integer, Long, ..., String, Date, ...
- pre iné triedy môžeme dodefinovať metódu **int compareTo**()



Interface Comparable

ak typ nie je primitívny musíme mu
prezradiť, ako porovnávať hodnoty
tohto typu

```
public class Zamestanec implements Comparable<Zamestanec> {  
    private final String meno, priezvisko;  
    public Zamestanec(String meno, String priezvisko) { // konštruktor  
        this.meno = meno; this.priezvisko = priezvisko;  
    }  
    public int compareTo(Zamestanec n) {  
        int lastCmp = priezvisko.compareTo(n.priezvisko);  
        return (lastCmp != 0 ? lastCmp : meno.compareTo(n.meno));  
    }  
    // alternatíva  
    public int compareTo(Object o) {  
        if (!(o instanceof Zamestanec)) return -9999;  
        Zamestanec n = (Zamestanec)o;  
        int lastCmp = priezvisko.compareTo(n.priezvisko);  
        return (lastCmp != 0 ? lastCmp : meno.compareTo(n.meno));  
    }  
}
```

Súbor: Zamestnanec.java

BVSTree

(insert)

```
public class BVSTree<E extends Comparable<E>> {
    BVSNode<E> root;    // smerník na vrchol stromu

    public BVSTree() {
        root = null;
    }
    public void insert(E x) {
        root = (root == null)? // je prázdny ?
            new BVSNode<E>(x): // vytvor
                               // jediný uzol
        root.insert(x); // inak vsuň do
                        // existujúceho stromu
    }

    public BVSNode<E> insert (E k) {
        if (k.compareTo(key) < 0)
            if (left == null)
                left = new BVSNode<E>(k);
            else
                left = left.insert(k);
        else
            if (right == null)
                right = new BVSNode<E>(k);
            else
                right = right.insert(k);
        return this;
    }
}
```

BVSTree – zlé riešenie

(delete)

```
public void delete(E k) { root = root.delete(k); }
```

```
private BVSTreeNode<E> delete(E k) {
```

```
    if (this == null)
```

```
        return null;
```

```
    if (k.compareTo(key) < 0)
```

```
        left = left.delete(k);
```

```
    else if (k.compareTo(key) > 0)
```

```
        right = right.delete(k);
```

```
    else // k == key
```

```
        this = null;
```

Pozor na konštrukcie:

- if (this == null)

- this = null,
pravdepodobne indikujú chybu



BVSTree

(delete)

Pozor na konštrukcie:

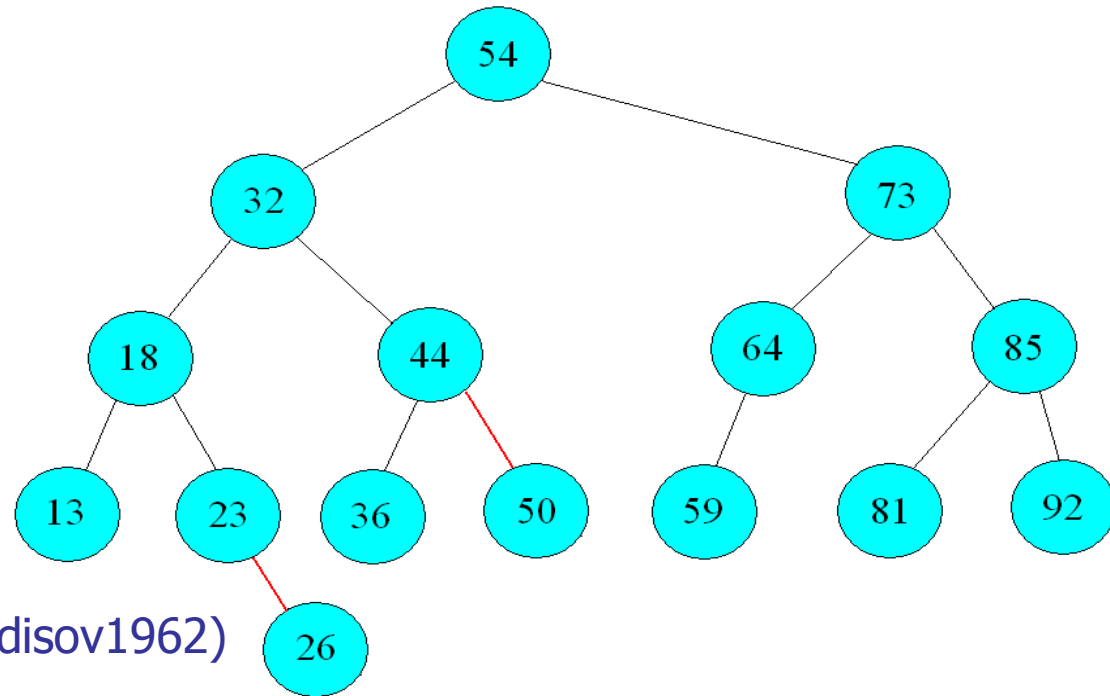
- this = null,
 - if (this == null)
- pravdepodobne indikujú chybu

```
public void delete(E k) { root = delete(k, root); }
```

```
private BVSTree<E> delete(E k, BVSTree<E> t ) {  
    if (t == null )  
        return t;  
    if (k.compareTo(t.key) < 0)  
        t.left = delete(k, t.left);  
    else if(k.compareTo(t.key) > 0)  
        t.right = delete(k, t.right);  
    else if( t.left != null && t.right != null ) {  
        t.key = findMin(t.right).key;  
        t.right = delete(t.key, t.right);  
    } else  
        t = (t.left != null) ? t.left : t.right;  
    return t;  
}
```

```
// element je v ľavom podstrome  
// delete v ľavom podstrome  
// element je v pravom podstrome  
// delete v pravom podstrome  
// je to on, a má oboch synov  
// nájdi min.pravého podstromu  
// rekurz.zmaž minimum  
// pravého podstromu  
// ak nemá 2 synov, je to ľahké
```

Vyvážené stromy



AVL Tree (Adelson-Velsky Landisov1962)

2-3, B-Tree (Bayer,1971)

Red-Black (Sedgewick,1978)

Splay Tree (Tarjan,1986)

Tree-Forest

vyskúšajte si demo, applet ilustrujúci stromové ADT:

<http://www.qmatica.com/DataStructures/Trees/BST.html>

<http://www.qmatica.com/DataStructures/Trees/AVL/AVLTree.html>