OMO

3 - Klíčové koncepty modelování systémů II

- Abstraktní datový typ
- Mutabilita, immutabilita
- Zpřístupnění reprezentace
- Neávislost reprezentace
- Reprezentační invarianty

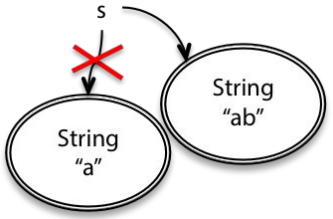
Ing. David Kadleček, PhD
kadlecd@fel.cvut.cz, david.kadlecek@cz.ibm.com

Mutabilita

Mutable (měnitelné) objekty jsou takové, které obsahují metody, které modifikují hodnotu objektu.

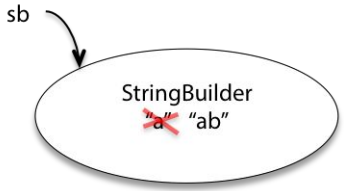
`String` je immutable, tedy např. pro přidání znaků na konec se vždy vytváří nový String.

```
String s = "a";
s = s.concat("b"); // s+="b" and s=s+"b" also mean the same thing
```



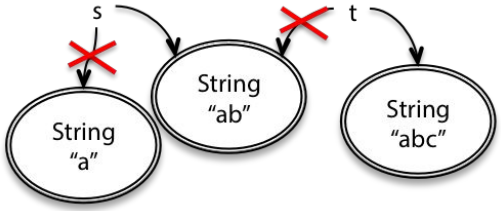
`StringBuilder` je mutable. Tedy i přidání znaků na konec modifikuje originální objekt.

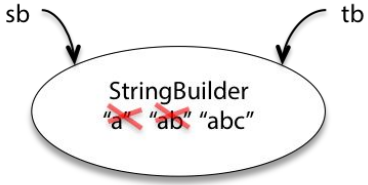
```
StringBuilder sb = new StringBuilder("a");
sb.append("b");
```



Rozdíl mezi mutable a immutable typy začne být evidentní ve chvíli, kdy máme víc jak jednu referenci na objekt. Např. když `t` ukazuje na stejný String jako `s` , a `tb` ukazuje na StringBuilder jako `sb`, tak:

```
String t = s;
t = t + "c";
StringBuilder tb = sb;
tb.append("c");
```





Rizika mutability

Mutable typy jsou “mocnější” z hlediska funkcionality a zpravidla mají i lepší performance - immutable typy při většině volání vytvářejí kopie.

Proč tedy vůbec používat immutable typy?

- **immutable typy jsou méně náchylné pro vznik bugů** - u mutable typů vzniká velké množství chyb kvůli tzv. Aliasingu - na ten samý objekt se odkazuje z různých míst kódu.-
- **kód s immutable typy je jednodušší na pochopení** - čtenář kódu nemusí studovat implementaci, aby zjistil co se vlastně děje na pozadí
- **kód s immutable typy i vlastní imutable typ je jednodušší na upravování** - jestliže mám pod kontrolou co se děje na pozadí v kódu, tak je mnohem bzpečnější zasahovat do již hotového kódu
- **Mutable objekty zesložiťují kontrakt a zhoršují reuse** - při přepoužití musím zpravidla zasahovat mnohem hlouběji do kódu a řešit situace Aliasingu.

I když obecné doporučení je používat immutable typy, tak jsou určité situace, kdy je výhodnější použím mutable typ (např. z performance důvodů) a existují užitečné mutable typy jako např: z Java Collections API jako je ArrayList, Hashtable.

Collections API poskytuje metody, které vrací immutable varianty: např. `Collections.unmodifiableList`

Rizika mutability - předávání mutable parametrů

Vytvoříme metodu, která sečte hodnoty v listu

```java
/** @return the sum of the numbers in the list */
public static int sum(List<Integer> list) {
    int sum = 0;
    for (int x : list)
    sum += x;
    return sum;
}
```

Nakonec obě metody použijeme

```java
// meanwhile, somewhere else in the code...
public static void main(String[] args) {
       // ...
   List<Integer> myData = Arrays.asList(-5, -3, -2);
   System.out.println(sumAbsolute(myData));
   System.out.println(sum(myData));
}
```

Pak vytvoříme metodu pro sečtení absolutních hodnot v seznamu (nebo jen v dobré víře optimalizujeme existující metodu). Abychom dodrželi principy DRY a nemuseli draze vytvářet list znovu, tak modifikujeme původní list

```java
/** @return the sum of the absolute values of the list */
public static int sumAbsolute(List<Integer> list) {
    // let's reuse sum(), because of DRY
    for (int i = 0; i < list.size(); ++i)
    list.set(i, Math.abs(list.get(i)));
    return sum(list);
}
```

=>

- Náchylné na chyby: Těžko vinit implementátora `sum-Absolute()`, chtěl jen dodržet princip DRY a nechtěl vytvářet drahou kopii celého seznamu. Je jen otázkou času než si některý programátor neuvědomí, že tato metoda modifikuje původní list.
- Těžko srozumitelné: Když budete procházet kód v `main()` , těžko vás napadne, že se seznam změní mezi voláním `sumAbsolute(myData)` a `sum(myData)`

Rizika mutability - vracení mutable parametrů

Tato metod vrací první jarní den (volá externí službu) na objektu Java *Date* (je mutable)

```
public static Date startOfSpring() {
       return askExternalService();
}
```

Vývojáři začnou tento kód používat pro naplánování party

```
public static void partyPlanning() {
       Date partyDate = startOfSpring();
       // ...
}
```

Pak se první vývojář rozhodne, že bude odpověď ze služby cachovat, aby se nepřetěžovala

```
public static Date startOfSpring() {
   if (groundhogAnswer == null) groundhogAnswer = askGroundhog();
       return groundhogAnswer;
}
private static Date groundhogAnswer = null;
```

A druhý vývojář se rozhodne, že posune party o jeden měsíc

```
public static void partyPlanning() {
       // let's have a party one month after spring starts!
       Date partyDate = startOfSpring();
       partyDate.setMonth(partyDate.getMonth() + 1);
       // => Next call returns different date (+1)
}
```

=>

- Náchylné na chyby: Opět je vytvořen kód, který jen čeká na zavlečení chyby
- Náročné na změny: Dva vývojáři provedli dvě úpravy což vyústilo v chybu

Abstrakce - datová abstrakce

Odděluje abstraktní vlastnosti datového typu od jeho implementace. Abstraktní vlastnosti jsou ty, které jsou viditelné a měl bych je brát v potaz v kódu, ve kterém abstraktní datový typ používám. Konkrétní implementace je schovaná a mohu ji bez dopadu na tento kód měnit.

Hlavním reprezentantem datové abstrakce je ***Abstraktní Datový Typ (ADT)***. ADT je matematický model pro datový typ definovaný množinou hodnot a operací nad těmito hodnotami, které splňují definované axiomy. Ekvivalentní k algebraické struktuře v abstraktní algebře.

Příklad: Typ Integer je ADT definovaný hodnotami ..., −2, −1, 0, 1, 2, ... a operacemi + , - , /, <,>,= které splňují axiomy asociativity, komutativity atd. V programovacích jazycích např. typ *boolean, float* atd. reprezentuje tzv. ADT.

Další příklady:

- V objektově orientovaném programování jsou třídy reprezentantem datové abstrakce - zapouzdřují přístup k datům (encapsulation) a poskytují pouze část dat (information hiding)
- Typy z collection API jako *Collection, List, Set, Map* jsou příkladem datové abstrakce - předepisují práci s datovou strukturou pomocí API a definuje princip práce s daty.
- RDBMS používájí abstrakci tabulky, které má záznamy (*Row*) a sloupečky (*Column*). Uživatel je odstíněn

Mutable a immutable ADT

Typy, vestavěné nebo uživatelem definované, lze klasifikovat jako:

- **mutable (**měnitelné**)**
- **immutable (**neměnné**)**.

Mutable typy lze změnit, to znamená, že poskytují operace, které při spuštění způsobují, že výsledky dalších operací na stejném objektu dávají různé výsledky.

=> `Date` je mutable, protože můžete volat `setMonth` a sledovat změnu pomocí operace `getMonth`.

=> `String` je neměnný, protože jeho operace vytvářejí nové objekty `String` spíše než by měnily existující.

Pozn. Někdy je typ poskytován ve dvou podobách, v měnitelném a nezměnitelné formě. Například `StringBuilder` je mutable verze `String` (ačkoli oba nejsou určitě stejným Java typem a nejsou vzájemně zaměnitelné).

Clasifikace typů a operací

Operace abstraktního typu dělíme takto:

- **Creators** - vytvářejí nové objekty daného typu. Creator může vzít objekt jako argument, nikoli však objekt stejného typu jako ten, kterého vytváří.
- **Producers** - vytvářejí nové objekty ze starých objektů daného typu. Operace `concat` v třídě `String` je příklad produceru: vezme dva stringy a vytvoří z nich nový reprezentující jejich spojení
- **Observers** - berou objekty abstraktního typu a vracejí objekty jiného typu. Operace `size` v třídě `List` je příkladem observeru, jelikož vrací `int` .
- **Mutators** - mění objekty. Metoda `add` třídy `List` , je příkladem mutátoru, protože mění list tím, že na jeho konec přidává element.

Schématicky lze tyto různé typy zapsat následovně

- creator : t* ➜ T
- producer : T+, t* ➜ T
- observer : T+, t* ➜ t
- mutator : T+, t* ➜ void | t | T

Kde *T* je sám abstraktní typ; každé *t* je nějaký jiný typ. `+` značí, že se typ může v signatuře metody vyskytnout jednou nebo n-krát, `*` a je nula nebo n-krát, `|` značí *nebo*.

Příklady pro pochopená schéma

Producer vezme dvě hodnoty abstraktního typu *T* - `String.concat()`:

- `concat` : String × String ➔ String

Observer může být bezparametrický (žádný argument typu *t*):

- `size`: List ➔ int

... nebo naopak brát několik parametrů:

- `regionMatches` : String × boolean × int × String × int × int ➔ boolean

Creator operace je často implementována jako *constructor* , např `new ArrayList()`,

- `new ArrayList()`: () ➔ ArrayList

může to ale být i jednoduchá statická matoda jako `Arrays.asList()`:

- `valueOf:` () ➔ String Pozn. Creator implementovaný jako statická metoda je často nazýván jako *factory method* . Např. `String.valueOf`.

Mutators často vrací `void`, ale není to ve 100%. Metoda, která vrací void musí být volána kvůli nějakému side-efektu. Např. `Component.add()` v Java UI toolkitu vrací samotný objekt, aby bylo možné metody `add()` zřetězit za sebe.

- `add:` () ➔ Component

Příklady z Javy

`int` je primitivní datový typ. `int` je immutable, nemá tedy žádné mutators.

- creators: čísla `0` , `1` , `2` , ...
- producers: arithmetické operátory `+` , `-` , `*` , `/`
- observers: porovnávací operátory `==` , `!=` , `<` , `>`
- mutators: nemá

`List` je typ pro reprezentaci listu. `List` je mutable. `List` je také interface, což znamená, že ho implementují ostatní třídy, např. `ArrayList` a `LinkedList` .

- creators: `ArrayList` a `LinkedList` konstruktory, `Collections.singletonList`
- producers: `Collections.unmodifiableList`
- observers: `size` , `get`
- mutators: `add` , `remove` , `addAll` , `Collections.sort`

`String` je typ pro reprezentaci řetězce. `String` je immutable.

- creators: `String` konstruktory
- producers: `concat` , `substring` , `toUpperCase`
- observers: `length` , `charAt`
- mutators: nemá

Jak navrhovat ADT

- Je lepší mít **minimální množinu jednoduchých operací, které lze dobře kombinovat**, než spoustu složitých operací.
- Každá operace by měla mít **přesně vymezený účel** fungující bez výjimek ve 100 % use casů. Např. operace `sum` nemá být definována v třídě `List`, protože ačkoliv funguje pro seznam integers, tak nedává smysl pro stringy. Úplně stejně `sum` nedává smysl pro vnořený list.
- Množina operací by měla **dobře pokrývat výpočty, které s typem budou klienti provádět**.
- Dobrým **testem pro ověřením, že typ poskytuje dostatečné metody, je zkusit postupně získat všechny vlastnosti typu**. Pokud je to jednoduché, tak je typ navržen dobře. Např. metoda *size* není nezbytně nutná - velikost mohu zjistit i iterováním přes celý list, nicméně je to extrémně neefektivní
- Dobrým **testem pro ověření, že typ neposkytuje nadbytek operací, je zkusit postupně metody odebírat** a zkoušet jestli mohu rozumně získat vlastnosti objektu
- Typ by měl být buď generický: seznam, množina, graf atd. nebo doménově specifický: mapa ulic, databáze zákazníků, telefonní seznam. **Meměl by kombinovat generické a doménově specifické vlastnosti**. Např. typ Balíček karet by neměl mít metodu `add`, která umožňuje přidávat libovolné typy jiné než karty. Naopak generický list by neměl mít metodu `dealCards`.

ADT a nezávislost na reprezentaci

ADT by měl být nezávislý na reprezentaci - tedy na aktuální datové struktuře a datových proměnných - tak, aby změny v reporezntaci neměly vliv na kód mimo typ. Např. operace poskytované třídou `List` jsou nezávislé na tom, jestli jsou data uvnitř reprezentována jakou prolinkovaý seznam `LinkedList` nebo pole

```
/** MyString represents an immutable sequence of characters. */
public class MyString {
   ////////////////////// Example of a creator operation ///////////////
   /** @param b a boolean value
    *  @return string representation of b, either "true" or "false" */
   public static MyString valueOf(boolean b) { ... }
   ////////////////////// Examples of observer operations ///////////////
   /** @return number of characters in this string */
   public int length() { return 0 }
   /** @param i character position (requires 0 <= i < string length)
    *  @return character at position i */
   public char charAt(int i) { ... }
   ////////////////////// Example of a producer operation ///////////////
   /** Get the substring between start (inclusive) and end (exclusive).
    *  @param start starting index
    *  @param end ending index.  Requires 0 <= start <= end <= string length.
    *  @return string consisting of charAt(start)...charAt(end-1) */
   public MyString substring(int start, int end) { ... }
}
```

ADT a nezávislost na reprezentaci

Pro náš nový ADT napíšeme implementaci. Náš ADT začnou používat vývojáři. Poté provedeme performance optimalizaci kódu. U správně implementovaného ATD tato optimalizace nebude vyžadovat zásah uživatelů do jejich kódu.

```
private char[] a;
...
public static MyString valueOf(boolean b) {
       MyString s = new MyString();
       s.a = b ? new char[] { 't', 'r', 'u', 'e' }
       : new char[] { 'f', 'a', 'l', 's', 'e' };
       return s;
       }

public int length() {return a.length;}

public char charAt(int i) { return a[i];}

public MyString substring(int start, int end) {
       MyString that = new MyString();
       that.a = new char[end - start];
       System.arraycopy(this.a, start, that.a, 0, end -
start);
       return that;
}
```

=>

```
private char[] a;
private int start;
private int end;
...
public static MyString valueOf(boolean b) {
       MyString s = new MyString();
       s.a = b ? new char[] { 't', 'r', 'u', 'e' }
       : new char[] { 'f', 'a', 'l', 's', 'e' };
       s.start = 0;
       s.end = s.a.length;
       return s;
       }

public int length() { return end - start;}
public char charAt(int i) { return a[start + i];}
public MyString substring(int start, int end) {
       MyString that = new MyString();
       that.a = this.a;
       that.start = this.start + start;
       that.end = this.start + end;
       return that;
}
```

ADT a nezávislost na reprezentaci

Pro náš nový ADT napíšeme implementaci. Náš ADT začnou používat vývojáři. Poté provedeme performance optimalizaci kódu. U správně implementovaného ATD tato optimalizace nebude vyžadovat zásah uživatelů do jejich kódu což je síla nezávislosti na reprezentaci.

```
private char[] a;
...
public static MyString valueOf(boolean b) {
       MyString s = new MyString();
       s.a = b ? new char[] { 't', 'r', 'u', 'e' }
       : new char[] { 'f', 'a', 'l', 's', 'e' };
       return s;
       }

public int length() {return a.length;}

public char charAt(int i) { return a[i];}

public MyString substring(int start, int end) {
       MyString that = new MyString();
       that.a = new char[end - start];
       System.arraycopy(this.a, start, that.a, 0, end -
start);
       return that;
}
```

=>

```
private char[] a;
private int start;
private int end;
...
public static MyString valueOf(boolean b) {
       MyString s = new MyString();
       s.a = b ? new char[] { 't', 'r', 'u', 'e' }
       : new char[] { 'f', 'a', 'l', 's', 'e' };
       s.start = 0;
       s.end = s.a.length;
       return s;
       }

public int length() { return end - start;}
public char charAt(int i) { return a[start + i];}
public MyString substring(int start, int end) {
       MyString that = new MyString();
       that.a = this.a;
       that.start = this.start + start;
      that.end = this.start + end;
       return that;
}
```

ADT - Invarianty

Invariance (česky neměnnost) je označení pro situaci, v níž jsou jisté VLASTNOSTI neměnné při určitých událostech. *Příkladem invariance je situace, kdy je dán systém veličin, které na sobě nějakým způsobem závisí. Potom se jedna z těchto veličin nazývá invariantní vůči změně jiné (referenční) veličiny, pokud má stále stejnou hodnotu při jakýchkoli změnách referenční veličiny.*

Správný ADT zachovává své invarianty, dokonce je za to zodpovědný

Invarianta je vlastnost programu, která je splněna pro jakýkoliv runtime stav programu a to nezávisle na chování klienta. *Příkladem důležité invarianty je immutabilita: jakmile je immutable objekt vytvořen, tak si drží tu samou hodnotu.* Je pak výrazně jednodušší pracovat s kódem jestliže máme garantovanou tuto vlastnost.

```
public class Tweet {
   public String author;
   public String text;
   public Date timestamp;
   /**
    * Make a Tweet.
    */
   public Tweet(String author, String text, Date timestamp) {
       this.author = author;
       this.text = text;
       this.timestamp = timestamp;
   }
}
```

Jak zajistíme, že jednotlivé tweety jsou immutable?

ADT - immutable invarianty

Prvním problémem je, že objekty mohou přímo modifikovat proměnné třídy, jedná se o tzv. **Representation exposure** (vystavení reprezentace). To kromě toho, že ohrožuje invarianty, tak ohrožuje i **Representation independence** (nezávislost na reprezentaci). Prvním krokem je tedy schování proměnných za *getter/setter* operace.

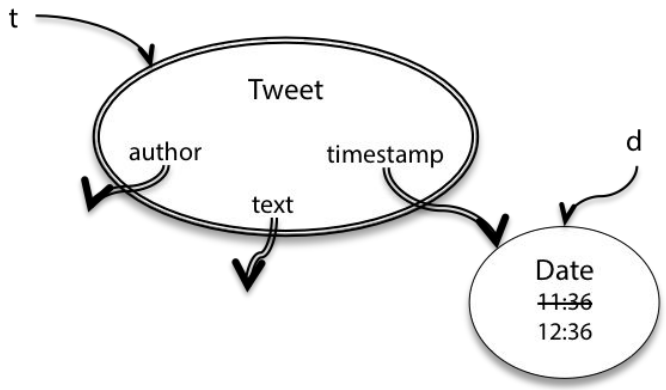
```
public class Tweet {
   private final String author;
   private final String text;
   private final Date timestamp;
   public Tweet(String author, String text, Date timestamp) {
       this.author = author;
       this.text = text;
       this.timestamp = timestamp;
   }
   public String getAuthor() {
       return author;
   }
   public String getText() {
       return text;
   }
   public Date getTimestamp() {
       return timestamp;
   }
}
```

Modifikátor *final* zajistí, že ani implementátor třídy nemůže upravovat stav objektu.

ADT - immutable invarianty

Tím to ale nekončí. Vývojář napíše následující kód:

```
/** @return a tweet that retweets t, one hour later*/
public static Tweet retweetLater(Tweet t) {
    Date d = t.getTimestamp();
    d.setHours(d.getHours()+1);
    return new Tweet("rbmllr", t.getText(), d);
}
```



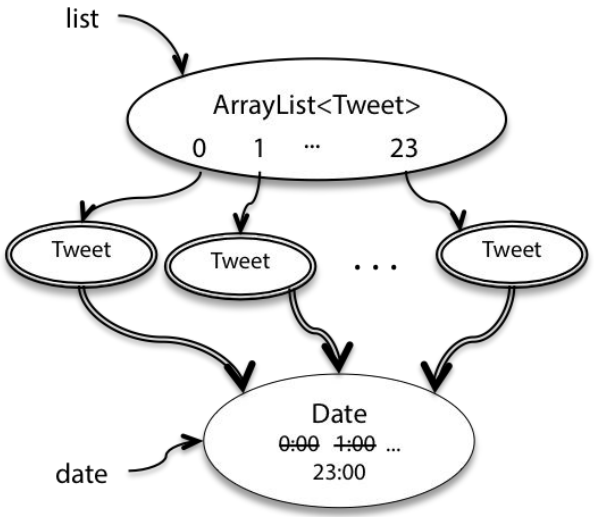
Čímž jsme z objektu tweet vrátili mutable objekt, který je pak modifikován ve vnějším kódu. To můžeme vyřešit jednoduchým patchem, tzv. *defensive copying*.

```
public Date getTimestamp() {
    return new Date(timestamp.getTime());
}
```

ADT - immutable invarianty

Vývojář ale může napsat i takovýto kód:

```
/** @return a list of 24 inspiring tweets, one per hour today*/
public static List<Tweet> tweetEveryHourToday () {
    List<Tweet> list = new ArrayList<Tweet>();
    Date date = new Date();
    for (int i = 0; i < 24; i++) {
       date.setHours(i);
       list.add(new Tweet("rbmllr", "keep it up! you can do it", date));
    }
    return list;
}
```



Čímž nám všechny instance tweetu odkazují na ten samý date objekt.

```
public Tweet(String author, String text, Date timestamp) {
       this.author = author;
       this.text = text;
       this.timestamp = new Date(timestamp.getTime());
}
```

Problém fixujeme kopií objektu Date v konstruktoru.

Pokud selže úplně vše, tak nebo nechceme dělat kopie objektů, tak je nutné to zapsat alespoň ve specifikaci

```
/**Make a Tweet.
 * @param author    Twitter user who wrote the tweet
 * @param text      text of the tweet
 * @param timestamp date/time when the tweet was sent. Caller must never mutate this Date
 object again! */
public Tweet(String author, String text, Date timestamp) {
```

ADT - Rep(rezentační) invarianty

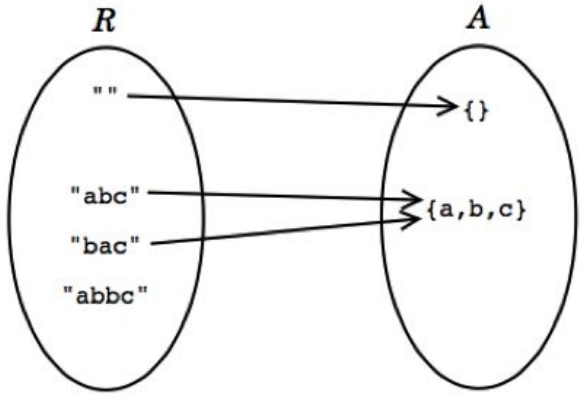
Na ADT je možné se dívat jako na vztah dvou prostorů hodnot. Prostor abstraktních hodnot **A** a prostor reprezentací **R**
Abstraktní prostor využíváme, protože to je právě to, co by měl ADT implementovat a vystavit.

Příklad: Implementujeme ADT CharSet. Pro vnitřní reprezentaci použijeme typ String.

```
public class CharSet {
   private String s;
   ...
}
```

Pak *R* obsahuje *Stringy* a *A* je matematická reprezentace množiny znaků

- Každá hodnota z A je mapovaná na nějakou hodnotu z R. Ve finále musíme být schopni vytvářet a manipulovat s veškerými možnými hodnotami A a zároveň být schopni je reprezentovat.
- Některé abstraktní hodnoty jsou mapované na více reprezentačních hodnot. *Např. Je více možných způsobů jak reprezentovat nesetříděnou množinu znaků jako String.*
- Ne všechny rep hodnoty jsou mapované. Pokud string nemá duplicity, tak to např. umožňuje ukončit *remove* metodu po nalezení první instance, protože další neexistuje.



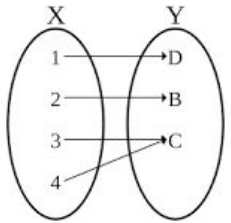
ADT - Rep(rezentační) invarianty

Definujeme dva základní termíny:

Astraktní funkce - surjektivní mapování hodnoty z R do hodnot v A (abstraktních hodnot které reprezentují) - surjekce

AF : R → A

Pozn. Surjekce = zobrazení na, druh zobrazení mezi množinami, které zobrazuje na celo cílovou množinu. Každý prvek cílové množiny má tedy alespoň jeden vzor.



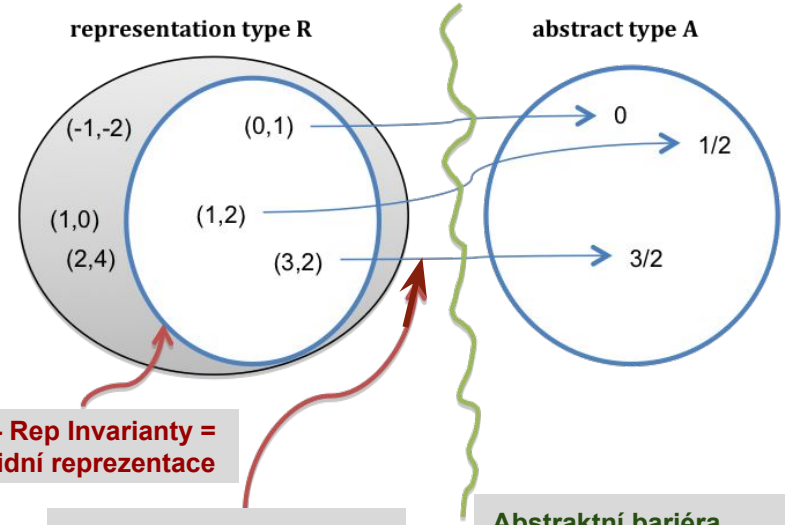
Rep invarianty - mapuje hodnoty z R na boolean (vlastnosti, které se drží a které ne)

RI : R → boolean

ADT Rep invarianty

Příklad ADT pro reprezentaci racionálních čísel =>

- Páry jako např. *(2,4)* a *(18,12)* nepatří do RI prostoru (mezi Rep Invarianty), protože nejsou v prvočíselném rozkladu jak je vyřadováno (**numer/denom is in reduced form)**




```
public class RatNum {
    private final int numer;
    private final int denom;
    // Rep invariant:
    //   denom > 0
    //   numer/denom is in reduced form
    // Abstraction Function:
    //   represents the rational number numer / denom
    public RatNum(int n) {
        numer = n;
        denom = 1;
        checkRep();
    }
    public RatNum(int n, int d) throws ArithmeticException{
        // reduce ratio to lowest terms
        int g = gcd(n, d);
        n = n / g;
        d = d / g;
        // make denominator positive
        if (d < 0) {
            numer = -n;
            denom = -d;
        } else {
            numer = n;
            denom = d;
        }
        checkRep();//used to check that Rep invariants hold
    }
}
```

ADT Závěry

- Invarianta je vlastnost, která je vždy splněna na dané instanci ADT po celý životní cyklus
- Dobrý ADT si drží své vlastní invarianty
- Creators a Producers nejdržíve inicializují Invarianty a Observers a Mutators je poté drží.
- Rep invarianty specifikují validní hodnoty reprezentace a jsou kontrolovány v runtime speciální metodou `checkRep()`, která do jisté míry nahrazuje preconditions.
- Abstraktní funkce mapují konkrétní reprezentace na abstraktní hodnoty, které reprezentují
- Zpřístupnění reprezentace (Representation exposure) je ohrožením pro nezávislost reprezentace (representation independence) a zachování invariant (invariant preservation).
- **ADT Rep Invarianty = kuchařka jak vytvářet abstraktní datové typy tak:**
    a. **aby se minimalizovaly možnosti vzniku chyb**
    b. **kód byl srozumitelný**
    c. **kód byl připravený na změny.**

REFERENCE:

https://ocw.mit.edu/ans7870/6/6.005/s16/classes/13-abstraction-functions-rep-invariants/#rep_invariant_and_abstraction_function