Программирование на Java

3. Библиотека коллекций

Глухих Михаил Игоревич
mailto: glukhikh@mail.ru

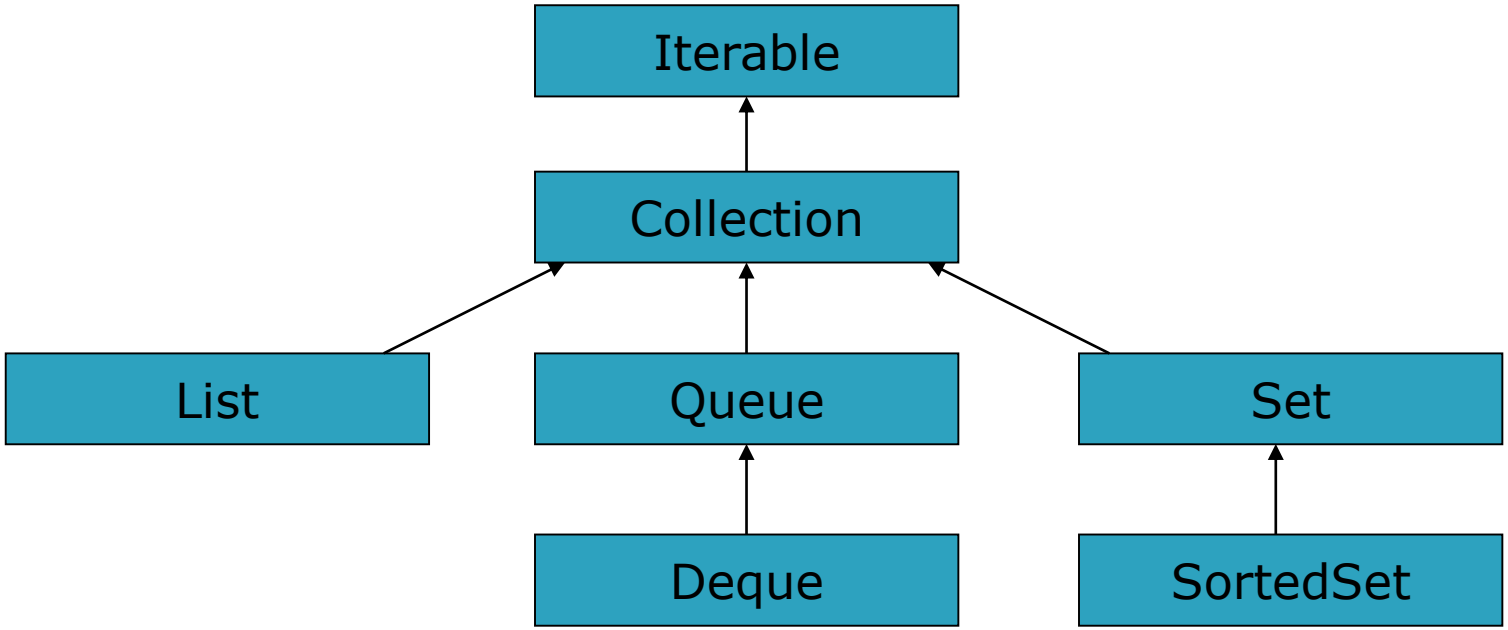
Назначение

- Работа с контейнерами различного типа:
  - списки
  - множества
  - очереди
  - ассоциативные массивы
  - …

Организация

- Интерфейс
  (что мы умеем делать)
  - Абстрактный класс
    (частичная реализация действий)
    - Класс
      (полная реализация действий)

Иерархия интерфейсов коллекций



Принцип наследования

- Iterable ← Collection
  всё, что является Collection, является Iterable
  Collection **is** Iterable

Неизменяемые vs Изменяемые

- Котлин: compile time
  - Collection / MutableCollection
  - List / MutableList
  - Set / MutableSet
- Java: run time
  - Collection (mutable?)
  - List (mutable?)
  - Set (mutable?)

Интерфейс Iterable<T>

- Означает **перебираемый**
- Содержит внутри себя элементы T, которые можно перебирать с помощью цикла for-each

```
Iterable<Integer> container =
    new ArrayList<Integer>();
// …
for (Integer element: container) {
}
```

Интерфейсы Iterable<T> и Iterator<T>

```
public interface Iterable<T> {
    Iterator<T> iterator();
}
// Класс, реализующий итератор,
// перебирает чьи-то элементы
// Класс-помощник
public interface Iterator<T> {
    boolean hasNext();
    T next();
    void remove();
}
```

Порядок использования итератора

- Проверить, есть ли следующий элемент (hasNext)
- Получить следующий элемент (next)
- Если нам это требуется, удалить его (remove)
- Повторить
- **НЕЛЬЗЯ** во время работы итератора изменять содержимое перебираемой коллекции (за исключением метода it.remove())

Пример использования итератора

```
Iterable<Integer> container =
    new ArrayList<Integer>();
// …
// Аналог цикла for-each
Iterator<Integer> it =
  container.iterator();
while (it.hasNext()) {
    Integer element = it.next();
    // …
}
```

Интерфейс Collection<E>

- Корневой интерфейс иерархии коллекций (реализуется всеми типами из данной иерархии)
- Коллекция состоит из элементов (типа E)
- Элементы (по умолчанию) могут дублироваться
- Коллекции (по умолчанию) неупорядочены, то есть, неизвестно, какой элемент на какой позиции стоит
- **Расширяет** Iterable<E>

Методы интерфейса Collection<E>

```
public interface Collection<E> extends Iterable<E> {
    boolean contains(Object obj);
    boolean containsAll(Collection<?> c);
    boolean isEmpty();
    int size();
    Object[] toArray();
    <T> T[] toArray(T[] arr);
    // Mutable-only!
    boolean add(E obj);
    boolean addAll(Collection<? extends E> c);
    void clear();
    boolean remove(Object obj);
    boolean removeAll(Collection<?> c);
    boolean retainAll(Collection<?> c);
}
```

Использование Collection

- Интерфейс Collection напрямую не реализуется классами из JDK
- Реализуются его расширения: List, Queue, Set
- Интерфейс Collection часто используется в аргументах функций (когда нам требуется передать какую-нибудь коллекцию, все равно какую)

Пример использования Collection

```
static public int calcSum(
    Collection<Integer> c) {
    int sum = 0;
    for (Integer i: c)
        sum += i;
    return sum;
}
```

Методы интерфейса Collection<E> (Java 8)

```
public interface Collection<E> extends Iterable<E> {
    default Stream<E> parallelStream();
    default Spliterator<E> spliterator();
    default Stream<E> stream();
    // Mutable-only!
    default boolean removeIf(
        Predicate<? super E> filter);
}
```

Stream<E> (Java 8)

- Описывает последовательность элементов (в широком смысле)

Stream<E> (Java 8)

- Описывает последовательность элементов (в широком смысле)
- Ленивые (ничего не вычисляется без необходимости)

Stream<E> (Java 8)

- Описывает последовательность элементов (в широком смысле)
- Ленивые (ничего не вычисляется без необходимости)
- Содержат преобразующие методы (Stream → Stream, например filter, map)

Stream<E> (Java 8)

- Описывает последовательность элементов (в широком смысле)
- Ленивые (ничего не вычисляется без необходимости)
- Содержат преобразующие методы (Stream → Stream, например filter, map)
- А также терминальные методы (Stream → …, например count, anyMatch)

Stream<E> (Java 8)

- Описывает последовательность элементов (в широком смысле)
- Ленивые (ничего не вычисляется без необходимости)
- Содержат преобразующие методы (Stream → Stream, например filter, map)
- А также терминальные методы (Stream → …, например count, anyMatch)
- Бывают последовательные и параллельные: см. isParallel

Частичная реализация Collection – класс AbstractCollection

- Абстрактный класс, в отличие от интерфейса, может содержать члены-данные и реализации методов
- В данном случае все методы коллекции реализованы на основе других (skeletal implementation):
  - size()
  - iterator()
  - add()
- Некоторые методы (например, clear) реализованы заведомо неэффективно
- Класс нужен для того, чтобы можно было быстро создать свою коллекцию

Методы интерфейса Stream<E> (Java 8) – примеры

```
public interface Stream<E> {
    // Builder
    static <E> Stream<E> of(T... values);
    // Intermediate
    Stream<E> distinct();
    Stream<E> filter(Predicate<? super E> predicate);
    Stream<R> map(Function<? super E, ? extends R>
                  mapper);
    // Terminal
    boolean allMatch(Predicate<? super E> predicate);
    boolean anyMatch(Predicate<? super E> predicate);
    long count();
    void forEach(Consumer<? super E> action);
}
```

SAM-интерфейсы и лямбды

- SAM = Single Abstract Method

```
public interface Predicate<T> {
    boolean test(T t);
    // + some default methods
}
```

SAM-интерфейсы и лямбды

- SAM = Single Abstract Method

```
public interface Predicate<T> {
    boolean test(T t);
    // + some default methods
}
```

- Использование напрямую

```
list.stream()
    .filter(new Predicate<Integer>() {
                @Override
                boolean test(Integer arg) {
                    return arg > 0;
                }
    }).sum();
```

SAM-интерфейсы и лямбды

- SAM = Single Abstract Method

```
public interface Predicate<T> {
    boolean test(T t);
    // + some default methods
}
```

- Использование в виде лямбды

```
list.stream()
    .filter { e -> e > 0 }
    .sum();
```

Spliterator<E> (Java 8)

- Напоминает итератор, вспомогательный класс для потоков
- Главное отличие – умеет делиться надвое (split)

Частичная реализация Collection – класс AbstractCollection

```
public abstract class AbstractCollection<E>
      implements Collection<E> {
   boolean isEmpty() { return size()==0; }
   boolean addAll(Collection<? extends E> c) {
      for (E e: c)
         add(e);
   }
   boolean contains(Object obj) {
      for (E e: this) {
         if (obj==null ? e==null : obj.equals(e))
            return true;
      }
      return false;
   }
}
```

Абстрактные классы VS интерфейсы

- Могут иметь нестатические-члены данные
- Могут включать реализацию некоторых функций
- Могут включать абстрактные abstract функции
- Могут иметь конструкторы
- Могут использоваться другими классами как базовые: public class ArrayList extends AbstractList
- Класс может иметь только один базовый класс (абстрактный или нет)

Интерфейсы VS абстрактные классы

- Могут иметь только статические члены-данные
- Могут включать только абстрактные функции
- Не могут иметь конструкторы
- Могут реализовываться другими классами:
  public class AbstractList implements List
- Класс может реализовывать любое количество интерфейсов

Абстрактные классы и интерфейсы

Feature	Interface	abstract class
Non-static fields	No	Yes
Method implementations	No (except Java 8)	Yes
Constructors	No	Yes
Class inherits by…	“implements”, N times	“extends”, one time
Interface inherits by…	“extends”	Not possible
Member visibility	public	any

Типичное использование абстрактных классов и интерфейсов

- Когда требуется указать некоторый перечень возможностей объекта, используется интерфейс
- Когда требуется реализовать некоторые общие для разных объектов функции, используется абстрактный класс

Интерфейс List<E>

- Список – упорядоченная коллекция
- У каждого элемента списка (в отличие от обобщенной коллекции) есть своя позиция
- Могут быть дублированные элементы
- Добавлены методы, связанные с конкретными позициями
- Кроме этого, изменены контракты некоторых методов Collection

Методы интерфейса List<E>

```
public interface List<E> extends Collection<E> {
    E get(int index);
    int indexOf(Object obj);
    int lastIndexOf(Object obj);
    List<E> subList(int fromIndex, int toIndex);
    ListIterator<E> listIterator(); // extends simple one
    // Mutable-only! add(obj) inserts element to the end
    boolean add(int index, E obj);
    boolean addAll(int index, Collection<? extends E> c);
    void clear();
    E remove(int index);
    E set(int index, E obj);
    // Java 8
    default void replaceAll(UnaryOperator<E> operator);
    default void sort(Comparator<? super E> c);
}
```

Интерфейс ListIterator<E> – списочный итератор

- Расширяет интерфейс Iterator<E> (перебор в две стороны, вставка и замена элементов, работа с индексами)
- Методы

```
boolean hasPrevious();
E previous();
int nextIndex();
int previousIndex();
void set(E elem);
void add(E elem);
```

Частичная реализация List – класс AbstractList

- Также скелетальная реализация на основе методов
  - add(index, element)
  - get(index)
  - set(index, element)
  - remove(index)
  - size()
- Расширяет класс AbstractCollection

Пример: реализация списка на основе заданного массива

```
static List<Integer> intArrayAsList(final int[] a) {
    if (a==null) throw new NullPointerException();
    return new AbstractList<Integer>() {
        @Override
        public Integer get(int i) { return a[i]; }
        @Override
        public Integer set(int i, Integer val) {
            int oldVal = a[i];
            a[i] = val;
            return oldVal;
        }
        @Override
        public int size() { return a.length; }
    }
}
```

Частичная реализация List – класс AbstractSequentialList

- Также скелетальная реализация на основе **одного** метода
  - listIterator(index) – получение списочного итератора, указывающего на заданный элемент
- Расширяет класс AbstractList

Реализации интерфейса List

- Реализация на основе массива – ArrayList, расширяет AbstractList

```
// Java 7+
List<Integer> c = new ArrayList<>();
List<Integer> d = new ArrayList<>(c);
// Java 6
List<Integer> c = new ArrayList<Integer>();
```

- Реализация на основе линейного списка – LinkedList, расширяет AbstractSequentialList
  - похожие конструкторы

Реализация на основе массива

- Внутри массив
- Отдельно запоминается его полный размер (вместимость) и текущее количество элементов

Реализация на основе массива

- Внутри массив
- Отдельно запоминается его полный размер (вместимость) и текущее количество элементов
- Если очередной элемент не влезает в массив – создаётся новый массив удвоенного размера,
  и данные переносятся в него

Реализация на основе линейного списка

- Состоит из узлов, содержащих собственный элемент и ссылки на соседние узлы
- При вставке / удалении ссылки модифицируются

Сравнение реализаций

- ArrayList – быстрее выполняется доступ в произвольное место массива, медленнее – удаление и вставка элементов в заданное место
- LinkedList – быстрее выполняется удаление и вставка элементов в заданное место, медленнее – доступ в произвольное место

Что такое быстрее-медленнее?

- Как зависит от размера списка или от индекса?

Что такое быстрее-медленнее?

- Как зависит от размера списка N или от индекса?
  - O(1) ~ фиксированное число операций, не зависящее от N

Что такое быстрее-медленнее?

- Как зависит от размера списка N или от индекса?
  - O(1) ~ фиксированное число операций, не зависящее от N
  - O(N) ~ число операций вида kN+b

Сравнение реализаций

Operation	ArrayList	LinkedList
Access by index	O(1)	O(index)
Add to the end	O(1)	O(1)
Add to the beginning	O(size)	O(1)
Add into the middle	O(size)	O(1) / O(size) (*)
Delete from the end	O(1)	O(1)
Delete from the beginning	O(size)	O(1)
Delete from the middle	O(size)	O(1) / O(size) (*)
Iterate through	O(size)	O(size)

(*) Добавление в середину / удаление из середины

- Для связанного списка делается быстро, если…

(*) Добавление в середину / удаление из середины

- Для связанного списка делается быстро, если уже есть итератор, указывающий на требуемое место

Неизменяемые списки

- Collections.<Type>emptyList()
- Collections.singletonList(element)
- Collections.unmodifiableList(list)

Интерфейсы как типы

- Везде, где возможно, лучше задавать тип интерфейсом –
  это позволяет легко менять реализацию

```
List<Integer> c = new ArrayList<>();
```

- НО!

~~ArrayList<Integer> c =~~
~~new ArrayList<>();~~

Интерфейс Set<E>

- Множество, не содержащее равных элементов
- Неупорядочено – неизвестно, какой элемент на какой позиции
- **Не содержит новых** по сравнению с коллекцией методов, однако модифицирует контракты некоторых существующих методов:
  - add – не добавляет уже присутствующий во множестве элемент
  - equals – множества равны, если равны их размеры, и каждый элемент одного содержится в другом

Вопрос

- Как правильно сформировать хэш-код множества?

Вопрос

- Как правильно сформировать хэш-код множества?
- Основная проблема – хэш-код должен быть одинаковым независимо от порядка, в котором перебираются элементы

Реализации интерфейса Set

- Имеется частичная реализация – AbstractSet (расширяет AbstractCollection, базовые функции те же)
- Реализация на основе хэш-таблицы – HashSet
  - используется хэш-поиск для обращения к элементам
  - при удачно написанной хэш-функции время выполнения add, remove, contains не зависит от размера множества
- Та же хэш-таблица, но упорядоченная – LinkedHashSet

Хэш-таблица

- Все элементы разбиваются на «карманы» (buckets) в зависимости от хэш-кода, так, чтобы в каждом кармане было немного элементов
- По хэш-коду ищем карман и в нём ищем элемент

Реализации интерфейса Set

- Реализация на основе бинарного дерева – TreeSet
  - реализует интерфейс SortedSet
  - порядок либо на основе Comparable<T>, либо на основе Comparator<T>
  - используется бинарный поиск для обращения к элементам
  - логарифмическое время поиска

Реализации интерфейса Set

- Реализация на основе битового поля – EnumSet
  - только для перечислений
  - каждому элементу перечисления ставится в соответствие один бит
  - нет традиционных конструкторов, вместо этого

```
Set<Planet> set = EnumSet.of(
  Planet.MERCURY, Planet.EARTH)
```

Пример использования Set – множество точек на плоскости

```
public class Point {
    private double x;
    private double y;
    public Point(double x, double y) {
        this.x = x;
        this.y = y;
    }
    public Point moveTo(double x, double y) {
        this.x = x;
        this.y = y;
        return this;
    }
    public double getX() {   return x;  }
    public double getY() {   return y;  }
    // ...
}
```

Пример использования Set – методы класса точка, множество

```
public class Point {

    @Override
    public boolean equals(Object obj) {
        if (this==obj) return true;
        if (obj instanceof Point) {
            final Point p = (Point)obj;
            return x == p.x && y == p.y;
        } else return false;
    }

    @Override
    public int hashCode() { ... }
}
public class PointSet extends HashSet<Point> {}
```

Пример использования Set – класс "множество точек" и тест

```
public class PointSetTest {
    private static void assertContains(
        final PointSet set, final Point p) {
        assertTrue(set.contains(p));
    }
    @Test
    public void testContains() {
        final PointSet set = new PointSet();
        final Point p = new Point(1.0, 2.0);
        set.add(p);
        assertContains(set, p);
        assertContains(set, p.clone());
        p.moveTo(2.0, 1.0);
        assertContains(set, p);
    }
}
```

Демонстрация

- См. пример part2.point

Демонстрация

- См. пример part2.point
- Вопрос – почему тест работает настолько странным образом?

Демонстрация

- См. пример part2.point

- Вопрос – почему тест работает настолько странным образом?
- Ответ – из-за изменения хэш-кода мы ищем точку не в том кармане, в котором она реально находится

Демонстрация

- См. пример part2.point

- Вопрос – почему тест работает настолько странным образом?
- Ответ – из-за изменения хэш-кода мы ищем точку не в том кармане, в котором она реально находится
- Вывод – не следует хранить внутри HashSet изменяющиеся данные; а в TreeSet?

Итоги

- Рассмотрены:
  Iterable, Collection, Stream, List, Set
- Далее:
  Deque, Map, …