Лабораторная работа №4

Тема: Расширение пакета для работы с функциями одной переменной

Скиба В.А.
Группа: 6204-010302d

Общие замечания по реализации

- Для корректного сравнения вещественных чисел используется машинный эпсилон в Math Util.java.
- Интерфейс `Function`: Function.java. `Tabulated Function` расширяет `Function`.
- Табулированные реализации: Array Tabulated Function.java, LinkedList Tabulated Function.java.
- Ввод/вывод и табулирование: Tabulated Functions.java.
- Аналитические функции: basic (`Exp.java`, `Log.java`, `Trigonometric Function.java`, `Sin.java`, `Com.java`, `Tan.java`).
- Мета-функции (композиции): meta (`Sum.java`, `Mult.java`, `Power.java`, `Scale.java`, `Shift.java`, `Composition.java`).
- Фабрика/утилиты: Functions.java.

Задание 1 — конструкторы с массивом Function Point

Реализовано в:

- ArrayTabulatedFunction.java
- LinkedListTabulatedFunction.java

Описание решения: добавлены конструкторы, принимающие `Function Point[]`.
Проверяется:

- количество точек >= 2,
- значения абсцисс строго возрастают (в противном случае — `IllegalArgumentException`).
  Входные объекты копируются (обеспечение инкапсуляции).

Результат: при некорректных данных бросается `IllegalArgumentException`.

```java
public ArrayTabulatedFunction(FunctionPoint[] points) {
    if (points == null) {
        throw new IllegalArgumentException(s: "Массив точек не может быть null");
    }
    if (points.length < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("Количество точек должно быть не менее 2: " + points.length);
    }

    for (int i = 0; i < points.length - 1; i++) {
        if (!MathUtil.less(points[i].getX(), points[i + 1].getX())) {
            throw new IllegalArgumentException(s: "Точки не упорядочены по X или содержат дубликаты");
        }
    }

    this.pointsCount = points.length;
    this.points = new FunctionPoint[pointsCount + 5];

    for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
        this.points[i] = new FunctionPoint(points[i]);
    }
    if (this.pointsCount < this.points.length) {
        Arrays.fill(this.points, this.pointsCount, this.points.length, val: null);
    }
}
```

```java
public LinkedListTabulatedFunction(FunctionPoint[] points) {
    this();

    if (points == null) {
        throw new IllegalArgumentException("Массив точек не может быть null");
    }
    if (points.length < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("Количество точек должно быть не менее 2: " + points.length);
    }

    for (int i = 0; i < points.length - 1; i++) {
        if (!MathUtil.less(points[i].getX(), points[i + 1].getX())) {
            throw new IllegalArgumentException("Точки не упорядочены по X или содержат дубликаты");
        }
    }

    for (FunctionPoint point : points) {
        FunctionNode newNode = addNodeToTail();
        newNode.point = new FunctionPoint(point); // Создаем копию
    }
}
```

Задание 2 — интерфейс Function

Реализовано в Function.java.

Содержит методы:

- double getLeftDomainBorder()
- double getRightDomainBorder()
- double getFunctionValue(double x)

`TabulatedFunction` теперь расширяет `Function`, поэтому табулированные функции являются частным случаем общих функций.

```java
package functions;

public interface Function {

    double getLeftDomainBorder();

    double getRightDomainBorder();

    double getFunctionValue(double x);
}
```

```java
package functions;

public interface TabulatedFunction extends Function {
    int getPointsCount();
    FunctionPoint getPoint(int index);
    void setPoint(int index, FunctionPoint point);
    double getPointX(int index);
    void setPointX(int index, double x);
    double getPointY(int index);
    void setPointY(int index, double y);

    void deletePoint(int index);
    void addPoint(FunctionPoint point);
}
```

Задание 3 — аналитические функции (пакет functions.basic)

Реализовано в basic:

- `Exp.java` — использует Math.exp(); область определения: от `Double.NEGATIVE_INFINITY` до `Double.POSITIVE_INFINITY`.
- `Log.java` — логарифм по заданному основанию (параметр конструктора), использует Math.log().
- `TrigonometricFunction.java` — базовый класс для тригонометрии (общая логика границ области).
- `Sin.java`, `Cos.java`, `Tan.java` — конкретные реализации (Math.sin, Math.cos, Math.tan).

Результат: аналитические функции возвращают корректные значения на ожидаемых областях.

```
System.out.println("Значения sin и cos на [0, pi] с шагом 0.1:");
for (double x = 0.0; x <= Math.PI + 1e-9; x += 0.1) {
    System.out.printf("x=%.2f sin=%.6f cos=%.6f%n", x, sin.getFunctionValue(x), cos.getFunctionValue(x));
}
```

Задание 4 — комбинирующие функции (пакет functions.meta)

Реализовано в meta:

- `Sum.java`, `Mult.java` — сумма и произведение двух функций; область определения — пересечение областей.
- `Power.java` — степень функции (конструктор: функция + степень).
- `Scale.java`, `Shift.java` — масштабирование и сдвиг (учтено изменение области по X при масштабировании/сдвиге).
- `Composition.java` — композиция двух функций.

```
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Composition implements Function {
    private final Function outer;
    private final Function inner;

    public Composition(Function outer, Function inner) {
        this.outer = outer;
        this.inner = inner;
    }

    @Override
    public double getLeftDomainBorder() {
        return inner.getLeftDomainBorder();
    }

    @Override
    public double getRightDomainBorder() {
        return inner.getRightDomainBorder();
    }

    @Override
    public double getFunctionValue(double x) {
        return outer.getFunctionValue(inner.getFunctionValue(x));
    }
}
```

```java
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Scale implements Function {
    private final Function base;
    private final double scaleX;
    private final double scaleY;

    public Scale(Function base, double scaleX, double scaleY) {
        if (Math.abs(scaleX) < 1e-15) throw new IllegalArgumentException(s: "scaleX не может быть 0");
        this.base = base;
        this.scaleX = scaleX;
        this.scaleY = scaleY;
    }

    @Override
    public double getLeftDomainBorder() {
        return base.getLeftDomainBorder() * scaleX;
    }

    @Override
    public double getRightDomainBorder() {
        return base.getRightDomainBorder() * scaleX;
    }

    @Override
    public double getFunctionValue(double x) {
        return scaleY * base.getFunctionValue(x / scaleX);
    }
}
```

```java
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Sum implements Function {
    private final Function f1;
    private final Function f2;

    public Sum(Function f1, Function f2) {
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }

    @Override
    public double getLeftDomainBorder() {
        return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(), f2.getLeftDomainBorder());
    }

    @Override
    public double getRightDomainBorder() {
        return Math.min(f1.getRightDomainBorder(), f2.getRightDomainBorder());
    }

    @Override
    public double getFunctionValue(double x) {
        return f1.getFunctionValue(x) + f2.getFunctionValue(x);
    }
}
```

Задание 5 — класс Functions (фабрика)

Реализовано в Functions.java.

Методы:

- `shift(Function f, double shiftX, double shiftY)`
- `scale(Function f, double scaleX, double scaleY)`
- power(Function f, double power)
- sum(Function f1, Function f2)
- `mult(Function f1, Function f2)`
- composition(Function f1, Function f2)

Класс имеет приватный конструктор, поэтому создать экземпляр извне нельзя.

```java
package functions;

import functions.meta.Composition;
import functions.meta.Mult;
import functions.meta.Power;
import functions.meta.Scale;
import functions.meta.Shift;
import functions.meta.Sum;

public final class Functions {
    private Functions() {}

    public static Function shift(Function f, double shiftX, double shiftY) {
        return new Shift(f, shiftX, shiftY);
    }

    public static Function scale(Function f, double scaleX, double scaleY) {
        return new Scale(f, scaleX, scaleY);
    }

    public static Function power(Function f, double power) {
        return new Power(f, power);
    }

    public static Function sum(Function f1, Function f2) {
        return new Sum(f1, f2);
    }

    public static Function mult(Function f1, Function f2) {
        return new Mult(f1, f2);
    }

    public static Function composition(Function outer, Function inner) {
        return new Composition(outer, inner);
    }
}
```

Задание 6 — TabulatedFunctions.tabulate

Реализовано в TabulatedFunctions.java.

Метод tabulate(Function function, double leftX, double rightX, int pointsCount):

- Проверяет, что отрезок [leftX, rightX] лежит в области определения функции (иначе — `IllegalArgumentException`).

- Возвращает реализацию `TabulatedFunction` (в текущей реализации — `ArrayTabulatedFunction`).

Задание 7 — ввод/вывод табулированных функций

Реализовано в TabulatedFunctions.java:

- outputTabulatedFunction(TabulatedFunction function, OutputStream out) — бинарная запись: количество точек и пары (x,y).
- inputTabulatedFunction(InputStream in) — чтение бинарного формата, восстановление `TabulatedFunction`.
- writeTabulatedFunction(TabulatedFunction function, Writer out) — символьная запись (в одну строку: n x1 y1 x2 y2 ...).
- readTabulatedFunction(Reader in) — чтение символьного формата (использован `StreamTokenizer`).

Замечания:

- Методы не закрывают переданные потоки (ответственность вызывающего кода).
- `IOException` пробрасывается наружу; обработка — на вызывающей стороне.

```
public static TabulatedFunction tabulate(Function function, double leftX, double rightX, int pointsCount) {
    if (leftX < function.getLeftDomainBorder() - EPS || rightX > function.getRightDomainBorder() + EPS)
        throw new IllegalArgumentException("Границы табулирования выходят за область определения функции");
    if (pointsCount < 2) throw new IllegalArgumentException("pointsCount < 2");

    double step = (rightX - leftX) / (pointsCount - 1);
    FunctionPoint[] pts = new FunctionPoint[pointsCount];
    for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
        double x = leftX + i * step;
        pts[i] = new FunctionPoint(x, function.getFunctionValue(x));
    }
    return new ArrayTabulatedFunction(pts);
}
```

```
public static void outputTabulatedFunction(TabulatedFunction function, OutputStream out) throws IOException {
    DataOutputStream dos = new DataOutputStream(new BufferedOutputStream(out));
    try {
        dos.writeInt(function.getPointsCount());
        for (int i = 0; i < function.getPointsCount(); i++) {
            dos.writeDouble(function.getPointX(i));
            dos.writeDouble(function.getPointY(i));
        }
        dos.flush();
    } finally {
    }
}
```

Задание 8 — тестирование

Тесты и демонстрация содержатся в Main.java:

- Вывод значений `Sin` и `Cos` на [0, π] с шагом 0.1.

- Табулирование с 10 точками и сравнение с аналитическими значениями.
- Сумма квадратов табулированных функций через Functions.power и Functions.sum.
- Табулирование `Exp` и `Log`, запись/чтение в текстовый/бинарный файлы и сравнение.

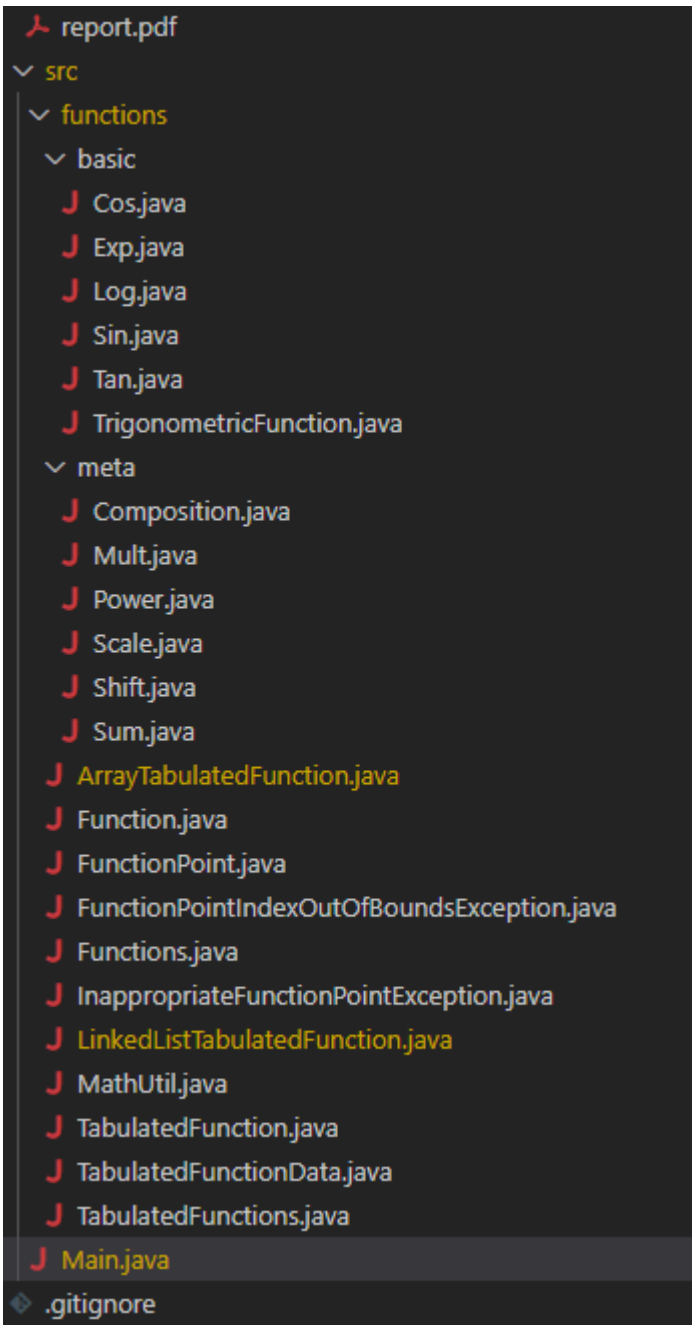
```
long extSize = extFile.length();
long pojoSize = serPojoFile.length();
System.out.println("Externalizable file: " + extFile.getName() + " size=" + extSize + " bytes");
System.out.println("Serializable(POJO) file: " + serPojoFile.getName() + " size=" + pojoSize + " bytes");

System.out.println("\nПервые 64 байта externalizable (hex):");
printFileHex(extFile, 64);
System.out.println("\nПервые 64 байта serializable POJO (hex):");
printFileHex(serPojoFile, 64);
```

Задание 9 — сериализация (Serializable vs Externalizable)

Реализовано:

- `ArrayTabulatedFunction` и `LinkedListTabulatedFunction` реализуют `Externalizable` (`writeExternal` / `readExternal`).
- POJO-класс `TabulatedFunctionData` используется для сравнения с обычной сериализацией `Serializable`.

Результаты: сравнение размеров и структуры файлов сериализации показано в Main. `Externalizable` даёт более компактное и управляемое представление; `Serializable` — удобнее, но может быть громоздким и менее предсказуемым.



=== Лабораторная работа №4 (сокращённый вывод) ===
Constructors test: Array pts=3, Linked pts=3
Function test: domain=[0.0,2.0] f(1.5)=2.5

--- Демонстрация: табулирование, IO и сериализация (сравнение) ---

Задание 8: Sin и Cos и табулирование
Значения sin и cos на [0, pi] с шагом 0.1:
x=0.00 sin=0.000000 cos=1.000000
x=0.10 sin=0.099833 cos=0.995004
x=0.20 sin=0.198669 cos=0.980067
x=0.30 sin=0.295520 cos=0.955336
x=0.40 sin=0.389418 cos=0.921061

x=0.50 sin=0.479426 cos=0.877583
x=0.60 sin=0.564642 cos=0.825336
x=0.70 sin=0.644218 cos=0.764842
x=0.80 sin=0.717356 cos=0.696707
x=0.90 sin=0.783327 cos=0.621610
x=1.00 sin=0.841471 cos=0.540302
x=1.10 sin=0.891207 cos=0.453596
x=1.20 sin=0.932039 cos=0.362358
x=1.30 sin=0.963558 cos=0.267499
x=1.40 sin=0.985450 cos=0.169967
x=1.50 sin=0.997495 cos=0.070737
x=1.60 sin=0.999574 cos=-0.029200
x=1.70 sin=0.991665 cos=-0.128844
x=1.80 sin=0.973848 cos=-0.227202
x=1.90 sin=0.946300 cos=-0.323290
x=2.00 sin=0.909297 cos=-0.416147
x=2.10 sin=0.863209 cos=-0.504846
x=2.20 sin=0.808496 cos=-0.588501
x=2.30 sin=0.745705 cos=-0.666276
x=2.40 sin=0.675463 cos=-0.737394
x=2.50 sin=0.598472 cos=-0.801144
x=2.60 sin=0.515501 cos=-0.856889
x=2.70 sin=0.427380 cos=-0.904072
x=2.80 sin=0.334988 cos=-0.942222
x=2.90 sin=0.239249 cos=-0.970958
x=3.00 sin=0.141120 cos=-0.989992
x=3.10 sin=0.041581 cos=-0.999135

Сравнение табулированных и аналитических значений (шаг 0.1):
x=0.00 sin=0.000000 tabSin=0.000000 | cos=1.000000 tabCos=1.000000
x=0.10 sin=0.099833 tabSin=0.097982 | cos=0.995004 tabCos=0.982723
x=0.20 sin=0.198669 tabSin=0.195963 | cos=0.980067 tabCos=0.965446
x=0.30 sin=0.295520 tabSin=0.293945 | cos=0.955336 tabCos=0.948170
x=0.40 sin=0.389418 tabSin=0.385907 | cos=0.921061 tabCos=0.914355
x=0.50 sin=0.479426 tabSin=0.472070 | cos=0.877583 tabCos=0.864608
x=0.60 sin=0.564642 tabSin=0.558234 | cos=0.825336 tabCos=0.814862
x=0.70 sin=0.644218 tabSin=0.643982 | cos=0.764842 tabCos=0.764620
x=0.80 sin=0.717356 tabSin=0.707935 | cos=0.696707 tabCos=0.688404
x=0.90 sin=0.783327 tabSin=0.771888 | cos=0.621610 tabCos=0.612188
x=1.00 sin=0.841471 tabSin=0.835841 | cos=0.540302 tabCos=0.535972
x=1.10 sin=0.891207 tabSin=0.883993 | cos=0.453596 tabCos=0.450633
x=1.20 sin=0.932039 tabSin=0.918022 | cos=0.362358 tabCos=0.357141
x=1.30 sin=0.963558 tabSin=0.952051 | cos=0.267499 tabCos=0.263648
x=1.40 sin=0.985450 tabSin=0.984808 | cos=0.169967 tabCos=0.169931
x=1.50 sin=0.997495 tabSin=0.984808 | cos=0.070737 tabCos=0.070437
x=1.60 sin=0.999574 tabSin=0.984808 | cos=-0.029200 tabCos=-0.029056
x=1.70 sin=0.991665 tabSin=0.984808 | cos=-0.128844 tabCos=-0.128549
x=1.80 sin=0.973848 tabSin=0.966204 | cos=-0.227202 tabCos=-0.224761

x=1.90 sin=0.946300 tabSin=0.932175 | cos=-0.323290 tabCos=-0.318254
x=2.00 sin=0.909297 tabSin=0.898147 | cos=-0.416147 tabCos=-0.411747
x=2.10 sin=0.863209 tabSin=0.862441 | cos=-0.504846 tabCos=-0.504272
x=2.20 sin=0.808496 tabSin=0.798488 | cos=-0.588501 tabCos=-0.580488
x=2.30 sin=0.745705 tabSin=0.734535 | cos=-0.666276 tabCos=-0.656704
x=2.40 sin=0.675463 tabSin=0.670582 | cos=-0.737394 tabCos=-0.732920
x=2.50 sin=0.598472 tabSin=0.594072 | cos=-0.801144 tabCos=-0.794171
x=2.60 sin=0.515501 tabSin=0.507908 | cos=-0.856889 tabCos=-0.843917
x=2.70 sin=0.427380 tabSin=0.421745 | cos=-0.904072 tabCos=-0.893664
x=2.80 sin=0.334988 tabSin=0.334698 | cos=-0.942222 tabCos=-0.940984
x=2.90 sin=0.239249 tabSin=0.236716 | cos=-0.970958 tabCos=-0.958261
x=3.00 sin=0.141120 tabSin=0.138735 | cos=-0.989992 tabCos=-0.975537
x=3.10 sin=0.041581 tabSin=0.040753 | cos=-0.999135 tabCos=-0.992814

Сумма квадратов табулированных аналогов (на [0, pi]):
x=0.00 val=1.000000
x=0.10 val=0.975345
x=0.20 val=0.970488
x=0.30 val=0.985429
x=0.40 val=0.984968
x=0.50 val=0.970398
x=0.60 val=0.975624
x=0.70 val=0.999358
x=0.80 val=0.975073
x=0.90 val=0.970586
x=1.00 val=0.985897
x=1.10 val=0.984515
x=1.20 val=0.970314
x=1.30 val=0.975910
x=1.40 val=0.998723
x=1.50 val=0.974808
x=1.60 val=0.970691
x=1.70 val=0.986371
x=1.80 val=0.984068
x=1.90 val=0.970237
x=2.00 val=0.976203
x=2.10 val=0.998094
x=2.20 val=0.974549
x=2.30 val=0.970802
x=2.40 val=0.986852
x=2.50 val=0.983628
x=2.60 val=0.970167
x=2.70 val=0.976503
x=2.80 val=0.997473
x=2.90 val=0.974298
x=3.00 val=0.970920
x=3.10 val=0.987341

Сравнение экспоненты и считанной из текстового файла (шаг 1):
x=0 orig=1.000000 read=1.000000
x=1 orig=2.718282 read=2.718282
x=2 orig=7.389056 read=7.389056
x=3 orig=20.085537 read=20.085537
x=4 orig=54.598150 read=54.598150
x=5 orig=148.413159 read=148.413159
x=6 orig=403.428793 read=403.428793
x=7 orig=1096.633158 read=1096.633158
x=8 orig=2980.957987 read=2980.957987
x=9 orig=8103.083928 read=8103.083928
x=10 orig=22026.465795 read=22026.465795

Сравнение логарифма и считанного из бинарного файла (шаг 1):
x=0 orig=NaN read=NaN
x=1 orig=0.000000 read=0.000000
x=2 orig=0.693147 read=0.693147
x=3 orig=1.098612 read=1.098612
x=4 orig=1.386294 read=1.386294
x=5 orig=1.609438 read=1.609438
x=6 orig=1.791759 read=1.791759
x=7 orig=1.945910 read=1.945910
x=8 orig=2.079442 read=2.079442
x=9 orig=2.197225 read=2.197225
x=10 orig=2.302585 read=2.302585

Сравнение сериализованной и десериализованной функции (шаг 1):
x=0 orig=0.000000 deser=0.000000
x=1 orig=1.000000 deser=1.000000
x=2 orig=2.000000 deser=2.000000
x=3 orig=3.000000 deser=3.000000
x=4 orig=4.000000 deser=4.000000
x=5 orig=5.000000 deser=5.000000
x=6 orig=6.000000 deser=6.000000
x=7 orig=7.000000 deser=7.000000
x=8 orig=8.000000 deser=8.000000
x=9 orig=9.000000 deser=9.000000
x=10 orig=10.000000 deser=10.000000

Сравнение Serializable vs Externalizable: сериализация в файлы и сравнение размеров
Externalizable file: tf_externalizable.obj size=1684 bytes
Serializable(POJO) file: tf_serializable_pojo.obj size=2401 bytes

Первые 64 байта externalizable (hex):
AC ED 00 05 73 72 00 20 66 75 6E 63 74 69 6F 6E
73 2E 41 72 72 61 79 54 61 62 75 6C 61 74 65 64
46 75 6E 63 74 69 6F 6E E4 1B B7 A5 CC 42 1E 57
0C 00 00 78 70 7A 00 00 04 00 00 00 00 65 00 00

Первые 64 байта serializable POJO (hex):
AC ED 00 05 73 72 00 1F 66 75 6E 63 74 69 6F 6E
73 2E 54 61 62 75 6C 61 74 65 64 46 75 6E 63 74
69 6F 6E 44 61 74 61 00 00 00 00 00 00 00 01 02
00 01 5B 00 06 70 6F 69 6E 74 73 74 00 1A 5B 4C

Выводы

- Все задания реализованы в кодовой базе: интерфейс `Function`, аналитические и табулированные реализации, метафункции, ввод/вывод и сериализация.
- Для сравнений вещественных чисел используется `MathUtil`.
- `Externalizable` предпочтителен для компактного контроля сериализуемого формата; `Serializable` — прост в использовании и подходит для быстрых решений.