

Лабораторна робота №5 - Масиви та списки

Списки

Починаючи з цієї роботи ми починаємо вивчення складених типів даних, що складаються з декількох елементів простих типів. Такі типи дуже часто необхідні в програмуванні. Розглянемо, наприклад, задачу про пошук всіх коренів біквадратного рівняння

$$ax^4 + bx^2 + c = 0$$

Чи можна написати функцію, яка цю задачу вирішить? Звичайно, так, але результатом подібної функції повинен бути *список* знайдених коренів біквадратного рівняння. *Список* - це один з дуже поширених складених типів з наступними властивостями:

- Список може включати в себе будь-яку кількість *елементів* (від нуля до нескінченності);
- Кількість елементів у списку називається його розміром;
- Всі елементи списку мають один і той же тип (в свою чергу, цей тип може бути простим - список дійсних чисел, або складеним - список рядків, або список списків цілих чисел, або будь-які інші варіанти);
- В іншому елементи списку незалежні один від одного.

Розглянемо розв'язання задачі про пошук коренів біквадратного рівняння на Котліні:

```
fun biRoots(a: Double, b: Double, c: Double): List<Double> {  
    if (a == 0.0) {  
        if (b == 0.0) return listOf()  
        val bc = -c / b  
        if (bc < 0.0) return listOf()  
        val root = sqrt(bc)  
        return if (root == 0.0) listOf(root) else listOf(-root, root)  
    }  
    val d = discriminant(a, b, c)  
    if (d < 0.0) return listOf()  
    val y1 = (-b + sqrt(d)) / (2 * a)  
    val y2 = (-b - sqrt(d)) / (2 * a)  
    // part1: List<Double>  
    val part1 = if (y1 < 0) listOf() else if (y1 == 0.0) listOf(0.0) else {  
        val x1 = sqrt(y1)  
        listOf(-x1, x1)  
    }  
    // part2: List<Double>  
    val part2 = if (y2 < 0) listOf() else if (y2 == 0.0) listOf(0.0) else {  
        val x2 = sqrt(y2)  
        listOf(-x2, x2)  
    }  
    return part1 + part2  
}
```

KOTLIN

Цей розв'язок побудовано за алгоритмом, що описаний нижче:

1. Перший **if** розглядає тривіальний випадок $a = 0$ і більш просте рівняння $bx^2 = -c$. Воно або не має коренів ($c / b > 0$), або має один корінь 0 ($c / b = 0$), або два кореня ($c / b < 0$).
2. Потім ми робимо заміну $y = x^2$ та обчислюємо дискримінант $d = b^2 - 4ac$. Якщо він від'ємний, рівняння не має коренів.

3. Якщо дискримінант дорівнює 0, рівняння $ay^2 + by + c = 0$ має один корінь. Залежно від його знаку, бікватратне рівняння або не має коренів, або має один корінь 0, або має два кореня.
4. В іншому випадку дискримінант додатний і рівняння $ay^2 + by + c = 0$ має два корені. Кожен з них, в залежності від його знака, перетворюється в нуль, один або два корені бікватратних рівняння.

Подивіться на тип результату функції `biRoots` - він зазначений як `List<Double>`. `List` в Kotlin - це і є список. У кутових дужках `<>` вказується так званий *типовий аргумент* - тип елементів списку, тобто `List<Double>` разом - це список дійсних чисел.

Для створення списків, зручно використовувати функцію `listOf()`. Аргументи цієї функції - це елементи створюваного списку, їх може бути будь-яка кількість (в тому числі 0). У ряді випадків, коли бікватратне рівняння не має коренів, функція `biRoots` повертає порожній список результатів.

В останньому, самому складному випадку, коли рівняння $ay^2 + by + c = 0$ має два корені y_1 і y_2 , ми формуємо рішення рівнянь $x^2 = y_1$ і $x^2 = y_2$ у вигляді списків `part1` і `part2`. Обидві ці проміжні змінні мають тип `List<Double>` - в цьому можна переконаватися в IDE, поставивши на них курсор введення і натиснувши комбінацію клавіш `Ctrl + Q`. В останньому операторі **return** ми **складаємо** два цих списки один з одним: `return part1 + part2`, утворюючи таким чином третій список, що містить в собі всі елементи двох попередніх.

Функцію `biRoots` можна дещо спростити, звернувши увагу на те, що ми в ній **чотири** рази вирішуємо одну і ту ж задачу: пошук коренів рівняння $x^2 = y$. Для програміста така ситуація повинна відразу перетворюватися в сигнал - **слід** написати для вирішення цього завдання окрему, більш просту функцію:

```
fun sqRoots(y: Double) =  
    if (y < 0) listOf()  
    else if (y == 0.0) listOf(0.0)  
    else {  
        val root = sqrt(y)  
        // Результат!  
        listOf(-root, root)  
    }
```

KOTLIN

Подивіться уважніше на оператор **if..else if..else**. Перші дві його гілки формують результат відразу ж, використовуючи `listOf()` і `listOf(0.0)`. А ось гілка **else** спочатку створює проміжну змінну `root` і вже потім формує результат `listOf(-root, root)`. Запам'ятайте: результат гілки в таких випадках формує **останній її** оператор.

Цю ж функцію можна переписати з використанням оператора **when**:

```
fun sqRoots(y: Double) =  
    when {  
        y < 0 -> listOf()  
        y == 0.0 -> listOf(0.0)  
        else -> {  
            val root = sqrt(y)  
            // Результат!  
            listOf(-root, root)  
        }  
    }
```

KOTLIN

З використанням `sqRoots` функція `biRoots` прийме наступний вигляд:

```

fun biRoots(a: Double, b: Double, c: Double): List<Double> {
    if (a == 0.0) {
        return if (b == 0.0) listOf()
            else sqRoots(-c / b)
    }
    val d = discriminant(a, b, c)
    if (d < 0.0) return listOf()
    if (d == 0.0) return sqRoots(-b / (2 * a))
    val y1 = (-b + sqrt(d)) / (2 * a)
    val y2 = (-b - sqrt(d)) / (2 * a)
    return sqRoots(y1) + sqRoots(y2)
}

```

З вихідних 24 рядків залишилися тільки 11, та й розуміння тексту функції стало значно простіше.

Напишемо тепер тестову функцію для перевірки роботи функції `biRoots`. Для цієї мети послідовно вирішимо з її допомогою такі рівняння:

- $0x^4 + 0x^2 + 1 = 0$ (коренів немає)
- $0x^4 + 1x^2 + 2 = 0$ (коренів немає)
- $0x^4 + 1x^2 - 4 = 0$ (корені -2, 2)
- $1x^4 - 2x^2 + 4 = 0$ (коренів немає)
- $1x^4 - 2x^2 + 1 = 0$ (корені -1, 1)
- $1x^4 + 3x^2 + 2 = 0$ (коренів немає)
- $1x^4 - 5x^2 + 4 = 0$ (корені -2, -1, 1, 2)

```

fun biRootsTest() {
    assertEquals(listOf<Double>(), biRoots(0.0, 0.0, 1.0))
    assertEquals(listOf<Double>(), biRoots(0.0, 1.0, 2.0))
    assertEquals(listOf(-2.0, 2.0), biRoots(0.0, 1.0, -4.0))
    assertEquals(listOf<Double>(), biRoots(1.0, -2.0, 4.0))
    assertEquals(listOf(-1.0, 1.0), biRoots(1.0, -2.0, 1.0))
    assertEquals(listOf<Double>(), biRoots(1.0, 3.0, 2.0))
    assertEquals(listOf(-2.0, -1.0, 1.0, 2.0), biRoots(1.0, -5.0, 4.0))
}

```

Зверніть увагу, що тут ми використовуємо запис `listOf<Double>()` для створення порожнього списку. Справа в тому, що для викликів на кшталт `listOf(-2.0, 2.0)` тип елементів створюваного списку зрозумілий з аргументів функції - це `List<Double>`. А ось виклик `listOf()` без аргументів не дає ніякої інформації про тип елементів списку, в той же час, наприклад, порожній список рядків і порожній список цілих чисел - з точки зору Котліна не одне і те ж.

У багатьох випадках Котлін, тим не менш, може зрозуміти, про який список йде мова. Наприклад, функція `biRoots` має результат `List<Double>`, а значить, все списки, які використовуються в операторах **return**, повинні мати такий же тип. Випадок з викликом `assertEquals`, однак, не несе достатньої інформації, щоб зрозуміти тип елементів, і ми змушені записати виклик функції більш детально - `listOf<Double>()`, вказуючи *типовий аргумент* `<Double>` між ім'ям функції, що викликається і списком її аргументів в круглих дужках.

Запустимо тепер написану тестову функцію. Ми отримаємо провалений тест через останню перевірку:

```
org.opentest4j.AssertionFailedError: expected: <[-2.0, -1.0, 1.0, 2.0]> but was: <[-2.0, 2.0, -1.0, 1.0]>
```

Тобто ми очікували список коренів -2, -1, 1, 2, а отримали натомість -2, 2, -1, 1. Справа в тому, що списки в Котліні вважаються рівними, якщо збігаються їх розміри, і відповідні елементи списків рівні. Списки, що складаються з одних і тих же елементів, але на різних місцях, вважаються різними.

У цьому місці програміст повинен задуматися, а що, власне, він хоче в точності від функції `biRoots`. Чи повинні знайдені корені бути впорядковані за зростанням, або вони можуть бути присутніми в списку в будь-якому порядку? Якщо повинні, то він повинен виправити функцію `biRoots`, а якщо ні - то тестову функцію, так як вона вимагає від тестованої функції більше, ніж та за фактом дає.

В обох випадках нам доведеться впорядкувати список знайдених коренів перед порівнянням. У Котліні це можна зробити, викликавши функцію `.sorted()`:

```
fun biRootsTest() {  
    // ...  
    assertEquals(listOf(-2.0, -1.0, 1.0, 2.0), biRoots(1.0, -5.0, 4.0).sorted())  
}
```

KOTLIN

Раніше ми вже зустрічалися з функціями з *одержувачем* `.toInt()` і `.toDouble()`. Функція `.sorted()` також вимагає наявності одержувача: виклик `list.sorted()` створює список того ж розміру, що і вихідний, але його елементи будуть впорядковані за зростанням.

Поширені операції над списками

Перерахуємо деякі операції над списками, що присутні в бібліотеці мови Котлін:

1. `listOf(...)` — створення нового списку.
2. `list1 + list2` — додавання двох списків, сума списків містить всі елементи їх обох.
3. `list + element` — додавання списку та елемента, сума містить всі елементи `list` і додатково `element`.
4. `list.size` — отримання розміру списку (`Int`).
5. `list.isEmpty()`, `list.isNotEmpty()` — отримання ознак порожнечі і непорожнечі списку (`Boolean`).
6. `list[i]` — індексація, тобто отримання *елемента* списку з цілочисельним *індексом* (номером) `i`. За правилами Котліна, в списку з `n` елементів вони мають індекси, що починаються з нуля: 0, 1, 2, ..., останній елемент списку має індекс `n - 1`. Тобто, при використанні запису `list[i]` повинно бути справедливо `i >= 0 && i < list.size`. Інакше виконання програми буде перерване з помилкою (використання індексу за межами списку).
7. `list.sublist(from, to)` — створення списку меншого розміру (підсписку), в який войдуть елементи списку `list` з індексами `from`, `from + 1`, ..., `to - 2`, `to - 1`. Елемент з індексом `to` не включається.
8. `element in list` — перевірка приналежності елементу `element` списку `list`.
9. `for (element in list) { ... }` — цикл **for**, що перебирає всі елементи списку `list`.
10. `list.first()` — отримання першого елемента списку (якщо список порожній, виконання програми буде перервано з помилкою).
11. `list.last()` — отримання останнього елемента списку (аналогічно).
12. `list.indexOf(element)` — пошук індексу елемента `element` в списку `list`. Результат цієї функції дорівнює -1, якщо елемент в списку відсутній. Інакше, при звертанні до списку `list` по обчисленому індексу ми отримаємо `element`.
13. `list.min()`, `list.max()` — пошук мінімального і максимального елемента в списку.
14. `list.sum()` — сума елементів в списку.

15. `list.sorted()`, `list.sortedDescending()` — побудова відсортованого списку (за зростанням, чи за спаданням) з поточного списку.
16. `list1 == list2` — порівняння двох списків на рівність. Списки рівні, якщо співпадають їхні розміри та відповідні елементи.

Мутуючі списки

Мутуючий список є різновидом звичайного, його тип визначається як `MutableList<ElementType>`. На додаток до тих можливостей, які є у всіх списків в Котліні, мутуючий список може змінюватися по ходу виконання програми або функції. Це означає, що мутуючий список дозволяє:

1. Змінювати свій вміст операторами `list[i] = element`.
2. **Додавати** елементи в кінець списку, зі збільшенням розміру на 1: `list.add(element)`.
3. **Видаляти** елементи зі списку, зі зменшенням розміру на 1 (якщо елемент був у списку): `list.remove(element)`.
4. **Видаляти** елементи зі списку по індексу, зі зменшенням розміру на 1: `list.removeAt(index)`.
5. **Вставляти** елементи в середину списку: `list.add(index, element)` — вставляє елемент `element` по індексу `index`, зсуваючи всі наступні елементи на 1, наприклад `listOf(1, 2, 3).add(1, 7)` дасть результат `[1, 7, 2, 3]`.

Для створення мутуючого списку можна використовувати функцію `mutableListOf(...)`, аналогічну `listOf(...)`.

Розглянемо приклад. Нехай є вихідний список цілих чисел `list`. Потрібно побудувати список, що складається з його від'ємних елементів, порядок їх в списку повинен залишитися незмінним. Для цього потрібно:

- Створити порожній мутуючий список
- Пройтися по всіх елементах вихідного списку і додати їх у мутуючий список, якщо вони від'ємні
- Повернути заповнений мутуючий список

```
fun negativeList(list: List<Int>): List<Int> {  
    val result = mutableListOf<Int>()  
    for (element in list) {  
        if (element < 0) {  
            result.add(element)  
        }  
    }  
    return result  
}
```

KOTLIN

Тут проміжна змінна `result` має тип `MutableList<Int>` (Переконайтеся в цьому в IDE за допомогою комбінації `Ctrl + Q`). Незважаючи на це, ми можемо використовувати її в операторі **return** функції з результатом `List<Int>`. Відбувається це тому, що тип `MutableList<Int>` є різновидом типу `List<Int>`, тобто, будь-який мутуючий список є також і просто списком (зворотне невірно - не будь-який список є мутуючим). Мовою математики це означає, що ОДЗ (область допустимих значень) типу `MutableList<Int>` є підмножиною ОДЗ типу `List<Int>`.

У наступному прикладі функція приймає на вхід вже **мутуючий** список цілих чисел, і змінює в ньому все додатні числа на протилежні за знаком:

```
fun invertPositives(list: MutableList<Int>) {
    for (i in 0 until list.size) {
        val element = list[i]
        if (element > 0) {
            list[i] = -element
        }
    }
}
```

Функція `invertPositives` не має результату. Це ще один приклад функції з побічним ефектом, які вже зустрічалися нам раніше. Єдиний сенс виклику даної функції - це зміна мутуючого списку, переданого їй як аргумент.

Зверніть увагу на заголовок циклу **for**. Тут ми змушені перебирати не елементи списку, а їх індекси, причому запис `i in 0 until list.size` еквівалентний `i in 0..list.size - 1` (Використання `until` дещо краще, так як дозволяє уникнути зайвого віднімання одиниці). Прямий перебір елементів списку в даному прикладі не проходить:

```
fun invertPositives(list: MutableList<Int>) {
    for (element in list) {
        if (element > 0) {
            element = -element // Val cannot be reassigned - помилка!
        }
    }
}
```

Параметр циклу **for** є незмінним. Записати тут `list[i] = -element` теж не вийде, оскільки індекс `i` нам невідомий. Можливий, щоправда, ось такий, трохи більш хитрий запис, який перебирає елементи і індекси одночасно:

```
fun invertPositives(list: MutableList<Int>) {
    for ((index, element) in list.withIndex()) {
        if (element > 0) {
            list[index] = -element
        }
    }
}
```

Використана тут функція `list.withIndex()` з вихідного списку формує інший список, містить *пари* (індекс, елемент), а цикл `for ((index, element) in ...)` перебирає паралельно і елементи і їхні індекси. Про те, що таке *пара* і як їй користуватися в Котлін, ми докладніше поговоримо пізніше.

У загальному і цілому, рідко коли варто користуватися функціями, основний сенс яких полягає в зміні їхніх параметрів. Подивіться, наприклад, як виглядає тестова функція для `invertPositives`:

```
fun invertPositivesTest() {
    val list1 = mutableListOf(1, 2, 3)
    invertPositives(list1)
    assertEquals(listOf(-1, -2, -3), list1)
    val list2 = mutableListOf(-1, 2, 4, -5)
    invertPositives(list2)
    assertEquals(listOf(-1, -2, -4, -5), list2)
}
```

Якщо раніше в нас одна перевірка завжди займала один рядок, то в цьому прикладі вона займає три рядки через необхідність створення проміжних змінних `list1` і `list2`. Крім цього, факт зміни `list1`, `list2` при виклику `invertPositives` схильний вислизати від уваги читача, ускладнюючи розуміння програми.

Масиви

Масив **Array** - ще один тип, призначений для зберігання і модифікації деякої кількості однотипних елементів. З точки зору можливостей, масив схожий на мутуючий список **MutableList**; головною його відмінністю є відсутність можливості змінювати свій розмір - для масивів відсутні функції `add` і `remove`.

Для звернення до елемента масиву служить оператор індексації: `array[i]`, причому є можливість як читати вміст масиву, так і змінювати його. Для створення масиву, зручно використовувати функцію `arrayOf()`, аналогічну `listOf()` для списків.

Майже всі можливості, наявні для списків, є і для масивів теж. Винятком є функції для створення підсписків `sublist`. Також, масиви не слід порівнювати на рівність за допомогою `array1 == array2`, оскільки в багатьох випадках таке порівняння дає невірний результат (подробіці про це - в лекції). Масив можна перетворити до звичайного списку за допомогою `array.toList()` або до мутуючого списку за допомогою `array.toMutableList()`. Список, в свою чергу, можна перетворити до масиву за допомогою `list.toArray()`.

В цілому, при написанні програм на Котліні майже немає випадків, коли масиви використовувати необхідно. Одним з небагатьох прикладів є головна функція, параметр якої має тип `Array<String>` - через нього в програму передаються аргументи командного рядка. Але в нових версіях Котліна цей параметр не є обов'язковим.

Завдання

Завдання 5.1

Представити математичний запис фрагмента програми та обчислити значення змінної `x` після його виконання. Елементи масиву обчислюються за формулою $a[i+1] = (67 * a[i] + 11) \% 128$. Значення `a[0]` дорівнює номеру варіанта за списком групи.

Варіант	Фрагмент програми	Варіант	Фрагмент програми
1-3	<pre>val t = 2 val n = 3 var x = 0 for (j in 0 until n) { x = x * t + a[j] }</pre>	4-6	<pre>val n = 4 var x = a[n] for (j in n-1 downTo 0) { x = a[j] + 1 / x }</pre>
7-9	<pre>val n = 4 var x = a[0] for (j in 1 until n) { if (a[j] < x) x = a[j] }</pre>	10-12	<pre>val t = 3.0 val n = 3 var x = a[n].toDouble() for (j in 0 until n) { x = x + a[j] * t.pow(n-j) }</pre>

Варіант	Фрагмент програми	Варіант	Фрагмент програми
13-15	<pre> val n = 4 val m = n / 2 var k = n - 1 for (j in 0 until m) { val y = a[j] a[j] = a[k] a[k] = y k-- } val x = a[0]</pre>	16-18	<pre> val n = 4 var k = 0 var x = 0.0 for (j in 0 until n) { if (a[j] > 0) { x += a[j] k++ } } if (k!=0 x /= k)</pre>

Завдання 5.2

Скласти програму обчислення наступних величин та виконати її у середовищі програмування. Елементи списку (масиву) визначаються за формулою $a[i] = p[i] - 64$; де $p[i+1] = (p[i] * 67 + 11) \% 128$. $p[0]$ дорівнює n – номеру варіанта за списком групи, кількість елементів у списку дорівнює 50.

Варіант	Завдання
1	Найбільший елемент масиву а, та його порядковий номер
2	Сума елементів масиву а, значення яких кратні N
3	Сума елементів масиву а, значення яких парні числа
4	Середнє арифметичне додатних елементів масиву а
5	Сума елементів масиву а, значення яких непарні числа
6	Середнє геометричне додатних елементів масиву а
7	Сума елементів масиву а, значення яких двозначні непарні числа
8	Добуток найбільшого та найменшого елементів масиву а
9	Сума елементів масиву а, значення яких двозначні парні числа
10	Модуль вектора $a/3$
11	Найменший елемент масиву а, з парним номером
12	Найбільший непарний елемент масиву
13	Сума від'ємних елементів масиву

Варіант	Завдання
14	Сума квадратів елементів масиву з парними номерами
15	Середнє арифметичне найбільшого та найменшого елементів з парними номерами
16	Середнє арифметичне найбільшого парного та найменшого непарного елементів

Завдання 5.3

- а. Протабулювати функцію із завдання 4.2. Значення x та y занести у списки.
- б. Знайти найбільше, та найменше значення у списку y . Вивести їх та відповідні їм значення з масиву x у наступному вигляді:

$y_{Min} = \dots$ при $x = \dots$

$y_{Max} = \dots$ при $x = \dots$

- с. Обчислити суму та середнє арифметичне значення елементів масиву y . Результати вивести на екран.