

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2023 Issue: 06 Volume: 122

Published: 12.06.2023 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Anastasia Vitalievna Tischenko

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Bachelor's Student
Institute of Computer Science and Technology

Oleg Yurievich Sabinin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Candidate of Engineering Sciences, Docent
Institute of Computer Science and Technology

IMPLEMENTATION OF A MODERN IOC CONTAINER TO AUTOMATING DEPENDENCY INJECTION

Abstract: The purpose of the article is to develop modern IoC container to simplify dependency injection.

Key words: container, component definition, dependency, module, extension.

Language: Russian

Citation: Tischenko, A. V., & Sabinin, O. Yu. (2023). Implementation of a modern IoC container to automating dependency injection. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 06 (122), 131-139.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-06-122-21> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2023.06.122.21>

Scopus ASCC: 1700.

РЕАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ИОС-КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Аннотация: Целью является анализ проблем кода с высоким уровнем связанности и реализация программного решения для автоматизации процесса внедрения зависимостей.

Ключевые слова: контейнер, компоненты программы, зависимость, модуль, точки расширения.

Введение

UDC 004.4

Программная платформа Java многие годы занимает лидирующие позиции в мире разработки программного обеспечения за счет своей безопасности и расширяемости. Платформа покрывает большинство нужд как мобильных, так и корпоративных программных решений благодаря широким возможностям и встроенному механизму защиты, а также не зависит от среды выполнения, так как может выполняться на любом устройстве, которое поддерживает виртуальную машину Java (JVM).

Самым выделяющимся принципом Java-платформы и её языков программирования является принцип поддержки полной обратной совместимости кода. Соблюдение данного

принципа является показателем надежности работы системы, поэтому создатели платформы неявным образом обязывают организации, разрабатывающие JVM-языки, соблюдать требования поддержки обратной совместимости, [1]. Действительно, большинство компаний и разработчиков, пользующихся Java-платформой, уверены в стабильности своих решений.

Принцип обратной совместимости имеет и негативные стороны – он в значительной степени усложняет модернизацию существующих инструментов.

Поддержка данного принципа популярна и среди Java-разработчиков, занимающихся созданием различных программных инструментов и библиотек, [2]. Среди программ и библиотек, разработчики которых зачастую применяют принцип обратной совместимости, существуют

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

решения, которые тяжело сопровождать. Одни из них – IoC-контейнеры. Это специальный инструмент, упрощающий и автоматизирующий процесс написания кода с низким уровнем связанности.

Таким образом, предлагаемый IoC-контейнер – это инструмент, позволяющий использовать полные возможности современных JVM-языков программирования Kotlin и Groovy и Java-платформы 17 версии.

Цель и задачи исследования

Целью статьи является разработка универсального аналога существующих IoC-контейнеров с учетом их недостатков.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести исследование проблем кода с высоким уровнем связанности и проанализировать их решение;

- провести исследование способов построения графа зависимостей компонентов программ;

- реализовать пользовательский интерфейс и внутреннюю функциональность контейнера.

Исследование проблем кода с высоким уровнем связанности и анализ их решения

Одна из основных проблем, стоящих перед разработчиками при создании программных решений, которые написаны с использованием парадигмы объектно-ориентированного программирования (ООП) – как избежать написание кода с высоким уровнем связанности компонентов между собой, [3].

Пример кода с высоким уровнем связанности представлен на рисунке 1.

```
class CardService {
    // Зависимости класса CardService
    private val cardDao: CardDao // Хранилище карт
    private val cardNumberValidator: CardNumberValidator // Валидатор номеров карт

    // Конструктор, в котором создаются экземпляры зависимостей
    // на этапе построения объекта CardService
    constructor() {
        cardDao = CardDao()
        cardNumberValidator = CardNumberValidator()
    }

    // Пример сохранения новой карты в системе
    fun saveCard(card: Card) {
        if (!cardDao.existsWithNumber(card.number)) {
            throw CardDoesNotExistException(card.number)
        }

        cardNumberValidator.validate(card.number)

        // Дополнительная бизнес-логика

        cardDao.save(card)
    }
}
```

Рисунок 1. Пример кода с высоким уровнем связанности.

В данном примере класс зависим от двух других компонентов проектируемого приложения: от хранилища карт и валидатора номеров банковских карт. Хранилище карт и

валидатор номера карты обеспечивают работу сервиса и являются его зависимостями. Диаграмма классов модуля по работе с данными банковских карт представлена на рисунке 2.

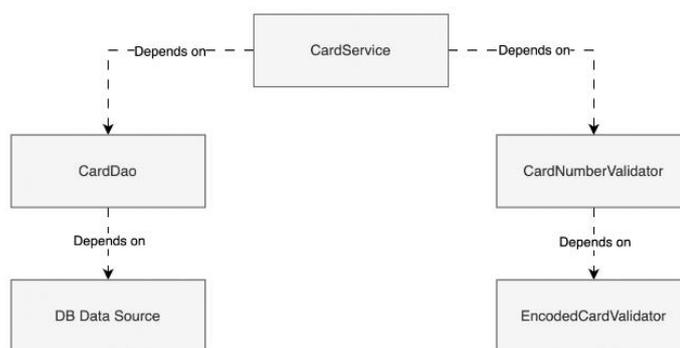


Рисунок 2. Диаграмма классов, демонстрирующая сильную связанность компонентов.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

В данном примере сервис, инкапсулирующий логику работы с данными банковских карт, ответственен за получение нужных ему зависимостей, но данный подход хорош лишь своей простотой. При написании такого кода можно выделить следующие проблемы:

- Программные компоненты могут иметь транзитивные зависимости.
- Усложняется возможность замены одной зависимости на другую, так как класс сам ответствен за свои зависимости и не представлен абстракцией.
- Сильно связанный код усложняет тестирование компонентов программного решения обособленно друг от друга, так как вместо написания «заглушек» для зависимостей тестируемого класса разработчик будет полностью имитировать условия возврата результата, нужного в рамках тестирования, [4].

Всё чаще сталкиваясь с данной проблемой, разработчики старались придумать универсальные правила, позволяющие спроектировать программные решения с грамотной архитектурой. Так, в начале 2000-х годов известный профессиональный программист Роберт Мартин сформулировал 5 принципов ООП, более известными под акронимом SOLID, [5]. Буква «D» описывает принцип инверсии зависимостей (dependency inversion principle):

- Модули верхних уровней не должны зависеть от модулей более нижних уровней.

Модули любых уровней должны зависеть от абстракций.

- Абстракции должны быть независимыми от деталей, но детали, в свою очередь, должны зависеть от абстракций.

Код, удовлетворяющий требованиям принципа инверсии зависимостей, является слабосвязанным.

Разработчики придумывали и разрабатывали различные способы разрешения проблем кода с высоким уровнем связанности, в частности, изобрели такие шаблоны проектирования, как «простая фабрика объектов» и «локатор служб». Также существует и другое решение данной проблемы - принцип инверсии зависимостей, частным случаем которого является внедрение зависимостей.

Внедрение зависимостей – совокупность принципов разработки ПО, упрощающих написание кода с низким уровнем связанности. Данный термин был введен разработчиком Мартином Флауэром, [6]. Принцип внедрения зависимостей подразумевает написание кода, в котором:

1. зависимости компонентов приложения должны передаваться извне через публичные методы доступа;
2. компоненты программы не должны заниматься созданием и настройкой своих зависимостей.

Пример внедрения зависимостей через конструктор класса представлен на рисунке 3.

```
// Теперь функциональность хранилища карт представлена абстракцией
interface CardDao {
    fun existsWithNumber(number: CardNumber): Boolean
}

// Теперь функциональность валидатора номера карты также представлена абстракцией
interface CardNumberValidator {
    fun validate(value: String)
}

class CardService {
    private val cardDao: CardDao // Хранилище карт
    private val cardNumberValidator: CardNumberValidator // Валидатор номеров карт

    // Теперь зависимости внедряются через конструктор
    constructor(dao: CardDao, validator: CardNumberValidator) {
        cardDao = dao
        cardNumberValidator = validator
    }

    // Пример сохранения новой карты в системе
    fun saveCard(card: Card) {
        if (!cardDao.existsWithNumber(card.number)) {
            throw CardDoesNotExistException(card.number)
        }

        cardNumberValidator.validate(card.number)

        // Дополнительная бизнес-логика

        cardDao.save(card)
    }
}
```

Рисунок 3. Пример реализации принципа внедрения зависимостей.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Использование принципа внедрения зависимостей решило проблемы кода с высокой степенью связанности:

1. Сервис карт зависит от абстракций (интерфейсов) и не имеет прямых зависимостей на конкретные реализации хранилища карт и валидатора номеров карт.

2. Сервис карт не несет ответственность за управление своими зависимостями, поэтому при замене одной реализации зависимостей сервиса на другую разработчику не понадобится вносить

изменения в код его класса. Кроме того, замена одной реализации зависимости на другую не требует повторной сборки модуля, в котором находится сервис, а также транзитивно зависимых от него модулей.

3. Внедрение зависимостей упрощает модульное тестирование за счет возможности передавать в качестве зависимостей «заглушки».

Диаграмма, демонстрирующая зависимости сервиса карт при использовании принципа внедрения зависимостей, показана на рисунке 4.

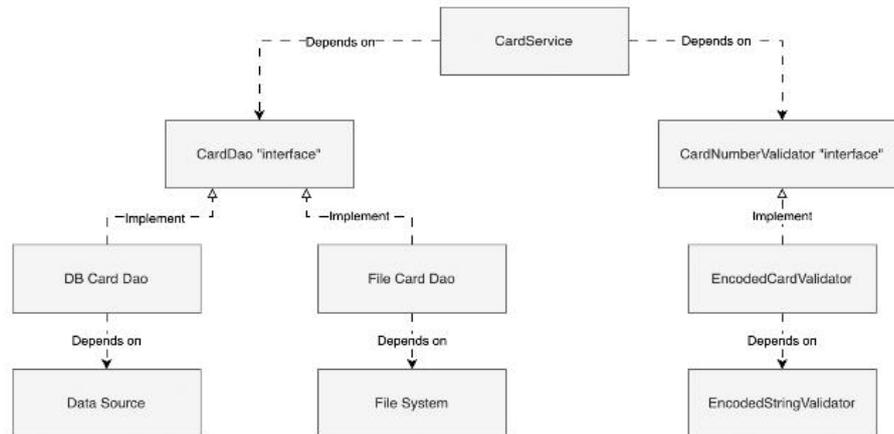


Рисунок 4. Диаграмма классов, демонстрирующая слабую связанность компонентов.

Исследование способов построения графа зависимостей компонентов программ

Набор компонентов программы и зависимостей между ними можно представить в виде ориентированного графа. Построение графа объектов должно начинаться в корне компоновки или в точке сбора (composition root). Корнем компоновки может являться как сама точка входа в программу, так и иные методы, содержащие логику построения графа. Хорошим считается решение, в котором точка компоновки находится как можно ближе к точке входа в программу.

Построение графов объектов осуществляется либо вручную, либо с использованием сторонних инструментов.

Ручное внедрение зависимостей — это один из возможных способов построения графа объектов без использования сторонних фреймворков и библиотек. Используя такой подход к построению графов объектов, разработчик берет на себя ответственность за процесс создания и компоновки каждого компонента приложения, [7]. Пример ручного построения графа зависимостей представлен на рисунке 5.

```
// Функция main() является точка входа в программу
fun main() {
    // Получение параметров подключения к базе данных
    // из конфигурационного файла application.properties
    val dbConfig = ConfigurationSource.newInstance()
        .fromClassPath("config/application.properties")
        .ofType<DatabaseConfiguration>()
        .load()

    // Ручное построение графа компонентов
    val cardService = CardService {
        dao = DatabaseCardDao {
            source = PostgreSQLDataSource {
                url = dbConfig.url,
                user = dbConfig.username,
                password = dbConfig.password
            }
        },
        validator = EncodedCardValidator {
            decoder = Base64Decoder()
        }
    }
    // Код с использованием ранее созданных компонентов
}
```

Рисунок 5. Ручное построение графа зависимостей объектов.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Такой подход значительно уменьшает трудозатраты программиста на контроль иерархии зависимостей объектов приложения. Кроме того, одним из самых главных преимуществ данного подхода является высокая скорость создания графа объектов, [8].

По мере увеличения количества объектов и связей между ними в приложении растет сложность построения графа объектов. На этом проблемы не кончаются – программисты также обязаны контролировать различные механизмы поддержания корректной работы компонентов приложения.

IoC-контейнеры – это библиотеки, автоматизирующие процесс построения графов объектов, а также выполняющие внедрение точек перехвата и управляющие жизненным циклом компонентов приложения. Использование данного инструмента также позволяет автоматизировать некоторые задачи, возникающие при разработке компонентов приложения:

1. Освобождение доступа к внешним ресурсам, доступ к которым имеют компоненты программы (соединение с брокером сообщений, базой данных, потоки ввода/вывода в файловую систему и иные виды сессионного взаимодействия программ);

2. Вызов методов дополнительной инициализации управляемого объекта, также именуемое как двухфазовое построение объектов (two-step object construction), [9];

3. Применение методов АОП. Например, со временем разработкам понадобилось разделить основную бизнес-логику приложения от дополнительной (второстепенной). Хорошим способом сделать это будет использование Proxy, и процесс оборачивания объектов может быть автоматизирован IoC-контейнером.

Разработка пользовательского интерфейса и внутреннего механизма работы IoC-контейнера.

IoC-контейнер предоставляет открытый пользовательский интерфейс, позволяющий регистрировать определения компонентов – объектов, содержащих основную информацию о внедряемом компоненте.

IoC-контейнер предоставляет 4 различных способа построения определений компонентов:

- по типу (классу);
- по готовому объекту (экземпляру);
- по классу проводника;
- по выражению.

Главной единицей, регистрируемой в контейнере, является не компонент, а модуль.

Модули конфигурации – это объекты, объединяющие в себе связанные аспекты конфигурации в именованные единицы. Модули могут быть изолированными или зависимыми (в том числе транзитивно) друг от друга.

Каждый модуль содержит:

- определения компонентов. Регистрация компонента в контейнере означает его регистрацию в одном из модулей с последующей регистрацией этого модуля в контейнере;

- ссылки на другие модули. Модули могут импортировать друг друга, образуя зависимости;

- источники модулей. Модули могут быть как зарегистрированы напрямую в коде приложения, как и быть считаны из внешних источников во время инициализации контейнера;

- источники пользовательских свойств – наборы, каждый из которых представлен в виде ассоциативного массива «название свойства – значение свойства» (например, параметры для подключения к базе данных);

- пользовательские определения АОП-аспектов;

- предварительные обработчики компонентов приложения.

Пример кода на языке Kotlin-Script, который регистрирует в контейнере пользовательский модуль конфигурации, представлен на рисунке 6.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

```
module("cardProcessingCore.module") {
    // Регистрируемые в модуле "cardProcessingCore.module" компоненты
    components {
        // Компонент с указанием типа CardService
        singleton<CardService> {
            // При наличии нескольких компонентов с данным типом
            // данный компонент будет приоритетным
            primary()
            // Пользовательское переопределение квалификатора
            qualified<CustomUserQualifier>()
        }
        // Компонент с указанием экземпляра
        instance<RegexCardNumberValidator>("^([0-9]{12}([0-9]{3})?|5[1-5][0-9]{14})\\$")
        // Компонент с указанием типа DatabaseCardDao
        singleton<DatabaseCardDao> {
            // Новое переопределение имя компонента
            name("AccessorRepository.DB")
        }
        // Компонент с указанием провайдера
        provider<PostgreSQLDataSourceProvider>()
    }

    // Внешние импортируемые модули
    imports {
        // Модуль, содержащий логику управления транзакциями
        module<TransactionFlowModule>()
        // Модуль, содержащий общую логику работы с базами данных
        module<DatabaseModule> {
            // Переопределение определенных компонентов импортируемого модуля
            exclude<DataSource> {
                // Исключение из конфигурации компонентов с заданным именем
                qualifiedWith(name("DataSource.Common"))
            }
        }
    }

    // Внешние импортируемые свойства
    properties {
        // Свойства, перечисленные и описанные в файле card.properties
        fromClassPath("config/card.properties") {
            // Распознавание свойств вида "propertyName = ${customPropertyName}"
            resolveWith(PlaceholderPropertyResolver(
                placeholderPrefix = "\${",
                placeholderSuffix = "}",
                propertySource = SystemProperties
            ))
            // Кэширование распознанных свойств
            caching()
        }
        // Считывание системных свойств
        properties(SystemProperties)
    }

    // Аспекты
    aspects {
        aspect {
            // Установка признака точек внедрения
            pointcut(
                classMatcher = extends<ExternalService>(),
                methodMatcher = annotatedAs<Protected>()
                or hasParameterThat(annotatedAs<Protected>())
            )
            // Перехватчик
            interceptor<AuthInterceptor>()
        }
    }

    // Предварительные обработчики
    preProcessors {
        // Обработчик карт
        preProcessor<CardEntityPreProcessor>()
    }
}
```

Рисунок 6. Пример регистрации модуля в ЮС-контейнере.

Пользователь может определять конфигурацию как в программном коде, так и в файлах конфигурации. Контейнер не ограничен конкретными форматами файлов конфигурации, и помимо стандартных механизмов считывания конфигурации из файлов пользователь может создавать собственные механизмы.

Kotlin и Kotlin-Script предоставляют механизмы, позволяющие писать собственные

предметно-ориентированные языки (domain-specific language или DSL). Разработчики могут использовать предоставляемые контейнером DSL для лаконичного описания модулей конфигураций, [10].

Примеры источников конфигурации и их возможностей представлены на рисунке 7.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350



Рисунок 8. Жизненный цикл контейнера.

Еще одним преимуществом предлагаемого решения является анализ графа компонентов приложения до инициализации этих компонентов. Аналог IoC-контейнер Spring работает иначе – контейнер последовательно инициализирует компоненты при построении графа объектов. В разработанном решении процесс выполнения программы при возникновении ошибки завершится раньше, в отличие от IoC-контейнера Spring.

Процесс построения графа зависимостей выглядит следующим образом:

1. Пользователь регистрирует модули конфигурации;
2. После разрешения всех ссылок данные из этих модулей, включая определения компонентов, объединяются в основной единый модуль;

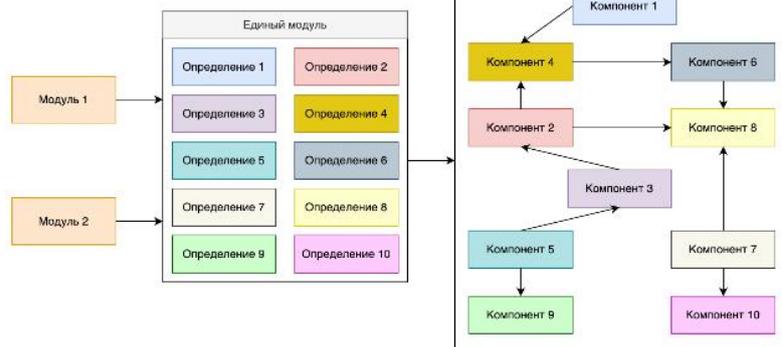


Рисунок 9. Процесс преобразования определений компонентов во внутренние модели контейнера

Выводы

Таким образом, в статье проведено исследование проблем кода с высоким уровнем связанности, описано их решение, проведен обзор

способов построения графа зависимостей компонентов программы, а также разработан пользовательский интерфейс и внутренняя функциональность IoC-контейнера.

References:

1. (2023). *Backwards Compatibility Requirements for Jakarta EE Platform*. Jakarta EE Team. Retrieved 22.05.2023 from <https://jakarta.ee/specifications/platform/9.1/>
2. Romanov, O.D., & Sabinin, O.Y. (2019). Building a container based application and shipping it to google cloud platform. *Theoretical & applied science*, №6, pp. 257-262.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

3. (2015). *M. Gupta OCP Java SE 7 Programmer II Certification Guide - 1st edition.* (p.832). New-York: Manning.
4. Osherou, R. (2014). *Isskustvo avtonomnogo testirovaniya s primerami na C# - 2nd edition.* (p.360). Moscow: DMK Press.
5. (2023). *The Principles of OOD.* Martin R. Retrieved 23.05.2023 from <http://butunclebob.com/ArticleS.UncleBob.PrinciplesOfOod>
6. (2023). *Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern.* Fowler M. Retrieved 24.05.2023 from <https://martinfowler.com/articles/injection.html>
7. Deursen, S., & Seemann, M. (2019). *Dependency Injection Principles, Practices, and Patterns - 1st edition.* (p.552). New-York: Manning.
8. (2023). *IoC Container Benchmark - Performance comparison.* Palme D. Retrieved 24.05.2023 from <https://www.palmmmedia.de/blog/2011/8/30/ioc-container-benchmark-performance-comparison>
9. (2000). *P. Haggag Java: Programming Language Guide - 1st edition.* (p.279). Addison-Wesley Professional.
10. Subramaniam, V. (2021). *Programming DSLs in Kotlin - 1st edition.* (p.74). Raleigh: The Pragmatic Programmers.