手写Spring

自己动手，从零开发一个迷你版Spring框架！

廖雪峰

2025-06-07

https://liaoxuefeng.com/books/summerframework/

目录

简介

原文链接

对于Java后端开发的同学来说，Spring框架已经是事实上的标准，如果对Spring和Spring Boot还不熟悉，那需要立刻抓紧时间学习Spring和Spring Boot。对于已经能熟练使用Spring框架的同学来说，要进一步理解Spring的设计思想，提升自己的架构能力，不如自己动手，从零开始编写一个Spring框架。

本教程的目标就是以Spring框架为原型，专注于实现Spring的核心功能，编写一个迷你版的Spring框架，我们把它命名为Summer Framework，与Spring主要区别在于，它俩的图标有所不同：

Spring Framework	Summer Framework
	

Summer Framework设计目标如下：

- context模块：实现ApplicationContext容器与Bean的管理；
- aop模块：实现AOP功能；
- jdbc模块：实现JdbcTemplate，以及声明式事务管理；
- web模块：实现Web MVC和REST API；
- boot模块：实现一个简化版的“Spring Boot”，用于打包运行。

我们会一步一步实现各模块，并在此基础上开发完整的应用程序。

本教程的所有源码均可从GitHub或Gitee下载。

评论

实现IoC容器

原文链接

Spring的核心就是能管理一组Bean，并能自动配置依赖关系的IoC容器。而我们的Summer Framework的核心context模块就是要实现IoC容器。

设计目标

Spring的IoC容器分为两类：BeanFactory和ApplicationContext，前者总是延迟创建Bean，而后者则在启动时初始化所有Bean。实际使用时，99%都采用ApplicationContext，因此，Summer Framework仅实现ApplicationContext，不支持BeanFactory。

早期的Spring容器采用XML来配置Bean，后期又加入了自动扫描包的功能，即通过 `<context:component-scan base-package="org.example"/>` 的配置。再后来，又加入了Annotation配置，并通过 `@ComponentScan` 注解实现自动扫描。如果使用Spring Boot，则99%都采用 `@ComponentScan` 注解方式配置，因此，Summer Framework也仅实现Annotation配置 + `@ComponentScan` 扫描方式完成容器的配置。

此外，Summer Framework仅支持Singleton类型的Bean，不支持Prototype类型的Bean，因为实际使用中，99%都采用Singleton。依赖注入则与Spring保持一致，支持构造方法、Setter方法与字段注入。支持 `@Configuration` 和 `BeanPostProcessor` 。至于Spring的其他功能，例如，层级容器、MessageSource、一个Bean允许多个名字等功能，一概不支持！

下表列出了Spring Framework和Summer Framework在IoC容器方面的异同：

功能	Spring Framework	Summer Framework
IoC容器	支持BeanFactory和ApplicationContext	仅支持ApplicationContext
配置方式	支持XML与Annotation	仅支持Annotation
扫描方式	支持按包名扫描	支持按包名扫描
Bean类型	支持Singleton和Prototype	仅支持Singleton
Bean工厂	支持FactoryBean和@Bean注解	仅支持@Bean注解
定制Bean	支持BeanPostProcessor	支持BeanPostProcessor

功能	Spring Framework	Summer Framework
依赖注入	支持构造方法、Setter方法与字段	支持构造方法、Setter方法与字段
多容器	支持父子容器	不支持

Annotation配置

从使用者的角度看，使用IoC容器时，需要定义一个入口配置，它通常长这样：

```
@ComponentScan
public class AppConfig {
}
```

`AppConfig` 只是一个配置类，它的目的是通过 `@ComponentScan` 来标识要扫描的Bean的包。如果没有明确写出包名，那么将基于 `AppConfig` 所在包进行扫描，如果明确写出了包名，则在指定的包下进行扫描。

在扫描过程中，凡是带有注解 `@Component` 的类，将被添加到IoC容器进行管理：

```
@Component
public class Hello {
}
```

我们用到的许多第三方组件也经常会纳入IoC容器管理。这些第三方组件是不可能带有 `@Component` 注解的，引入第三方Bean只能通过工厂模式，即在 `@Configuration` 工厂类中定义带 `@Bean` 的工厂方法：

```
@Configuration
public class DbConfig {
    @Bean
    DataSource createDataSource(...) {
        return new HikariDataSource(...);
    }

    @Bean
    JdbcTemplate createJdbcTemplate(...) {
        return new JdbcTemplate(...);
```

```
    }
}
```

基于Annotation配置的IoC容器基本用法就是上面所述。下面，我们就一步一步来实现IoC容器。

评论

实现ResourceResolver

原文链接

在编写IoC容器之前，我们首先要实现 `@ComponentScan` ，即解决“在指定包下扫描所有Class”的问题。

Java的ClassLoader机制可以在指定的Classpath中根据类名加载指定的Class，但遗憾的是，给出一个包名，例如， `org.example` ，它并不能获取到该包下的所有Class，也不能获取子包。要在Classpath中扫描指定包名下的所有Class，包括子包，实际上是在Classpath中搜索所有文件，找出文件名匹配的 `.class` 文件。例如，Classpath中搜索的文件 `org/example/Hello.class` 就符合包名 `org.example` ，我们需要根据文件路径把它变为 `org.example.Hello` ，就相当于获得了类名。因此，搜索Class变成了搜索文件。

我们先定义一个 `Resource` 类型表示文件：

```
public record Resource(String path, String name) {
}
```

再仿造Spring提供一个 `ResourceResolver` ，定义 `scan()` 方法来获取扫描到的 `Resource` ：

```
public class ResourceResolver {
    String basePackage;

    public ResourceResolver(String basePackage) {
        this.basePackage = basePackage;
    }

    public <R> List<R> scan(Function<Resource, R> mapper) {
        ...
    }
}
```

这样，我们就可以扫描指定包下的所有文件。有的同学会问，我们的目的是扫描 `.class` 文件，如何过滤出Class?

注意到 `scan()` 方法传入了一个映射函数，我们传入 `Resource` 到Class Name的映射，就可以扫描出Class Name：

```
// 定义一个扫描器:
ResourceResolver rr = new ResourceResolver("org.example");
List<String> classList = rr.scan(res -> {
    String name = res.name(); // 资源名称"org/example/Hello.class"
    if (name.endsWith(".class")) { // 如果以.class结尾
        // 把"org/example/Hello.class"变为"org.example.Hello":
        return name.substring(0, name.length() - 6).replace("/",
".").replace("\\", ".");
    }
    // 否则返回null表示不是有效的Class Name:
    return null;
});
```

这样，`ResourceResolver`只负责扫描并列出所有文件，由客户端决定是找出`.class`文件，还是找出`.properties`文件。

在ClassPath中扫描文件的代码是固定模式，可以在网上搜索获得，例如StackOverflow的这个回答。这里要注意的一点是，Java支持在jar包中搜索文件，所以，不但需要在普通目录中搜索，也需要在Classpath中列出的jar包中搜索，核心代码如下：

```
// 通过ClassLoader获取URL列表:
Enumeration<URL> en = getContextClassLoader().getResources("org/example");
while (en.hasMoreElements()) {
    URL url = en.nextElement();
    URI uri = url.toURI();
    if (uri.toString().startsWith("file:")) {
        // 在目录中搜索
    }
    if (uri.toString().startsWith("jar:")) {
        // 在Jar包中搜索
    }
}
```

几个要点：

1. ClassLoader首先从`Thread.getContextClassLoader()`获取，如果获取不到，再从当前Class获取，因为Web应用的ClassLoader不是JVM提供的基于Classpath的ClassLoader，而是Servlet容器提供的ClassLoader，它不在默认的Classpath搜索，而是在`/WEB-INF/classes`目录和`/WEB-INF/lib`的所有jar包搜索，从`Thread.getContextClassLoader()`可以获取到Servlet容器专属的ClassLoader；

2. Windows和Linux/macOS的路径分隔符不同，前者是 `\` ，后者是 `/` ，需要正确处理；

3. 扫描目录时，返回的路径可能是 `abc/xyz` ，也可能是 `abc/xyz/` ，需要注意处理末尾的 `/` 。

这样我们就完成了能扫描指定包以及子包下所有文件的 `ResourceResolver` 。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现PropertyResolver

原文链接

Spring的注入分为 `@Autowired` 和 `@Value` 两种。对于 `@Autowired` ，涉及到Bean的依赖，而对于 `@Value` ，则仅仅是将对应的配置注入，不涉及Bean的依赖，相对比较简单。为了注入配置，我们用 `PropertyResolver` 保存所有配置项，对外提供查询功能。

本节我们来实现 `PropertyResolver` ，它支持3种查询方式：

1. 按配置的key查询，例如： `getProperty("app.title")` ；
2. 以 `${abc.xyz}` 形式的查询，例如， `getProperty("${app.title}")` ，常用于 `@Value("${app.title}")` 注入；
3. 带默认值的，以 `${abc.xyz:defaultValue}` 形式的查询，例如， `getProperty("${app.title:Summer}")` ，常用于 `@Value("${app.title:Summer}")` 注入。

Java本身提供了按key-value查询的 `Properties` ，我们先传入 `Properties` ，内部按key-value存储：

```
public class PropertyResolver {

    Map<String, String> properties = new HashMap<>();

    public PropertyResolver(Properties props) {
        // 存入环境变量:
        this.properties.putAll(System.getenv());
        // 存入Properties:
        Set<String> names = props.stringPropertyNames();
        for (String name : names) {
            this.properties.put(name, props.getProperty(name));
        }
    }
}
```

这样，我们在 `PropertyResolver` 内部，通过一个 `Map<String, String>` 存储了所有的配置项，包括环境变量。对于按key查询的功能，我们可以简单实现如下：

```
@Nullable
public String getProperty(String key) {
```

```
    return this.properties.get(key);
}
```

下一步，我们准备解析 `${abc.xyz:defaultValue}` 这样的key，先定义一个 `PropertyExpr` ，把解析后的key和defaultValue存储起来：

```
record PropertyExpr(String key, String defaultValue) {
}
```

然后按 `${...}` 解析：

```
PropertyExpr parsePropertyExpr(String key) {
    if (key.startsWith("${") && key.endsWith("}")) {
        // 是否存在defaultValue?
        int n = key.indexOf(':');
        if (n == (-1)) {
            // 没有defaultValue: ${key}
            String k = key.substring(2, key.length() - 1);
            return new PropertyExpr(k, null);
        } else {
            // 有defaultValue: ${key:default}
            String k = key.substring(2, n);
            return new PropertyExpr(k, key.substring(n + 1, key.length() -
1));
        }
    }
    return null;
}
```

我们把 `getProperty()` 改造一下，即可实现查询 `${abc.xyz:defaultValue}` ：

```
@Nullable
public String getProperty(String key) {
    // 解析${abc.xyz:defaultValue}:
    PropertyExpr keyExpr = parsePropertyExpr(key);
    if (keyExpr != null) {
        if (keyExpr.defaultValue() != null) {
            // 带默认值查询:
            return getProperty(keyExpr.key(), keyExpr.defaultValue());
        } else {
```

```
            // 不带默认值查询:
            return getRequiredProperty(keyExpr.key());
        }
    }
    // 普通key查询:
    String value = this.properties.get(key);
    if (value != null) {
        return parseValue(value);
    }
    return value;
}
```

每次查询到value后，我们递归调用 `parseValue()` ，这样就可以支持嵌套的key，例如：

```
${app.title:${APP_NAME:Summer}}
```

这样可以先查询 `app.title` ，没有找到就再查询 `APP_NAME` ，还没有找到就返回默认值 `Summer` 。

注意到Spring的 `${...}` 表达式实际上可以做到组合，例如：

```
jdbc.url=jdbc:mysql//${DB_HOST:localhost}:${DB_PORT:3306}/${DB_NAME}
```

而我们实现的 `${...}` 表达式只能嵌套，不能组合，因为要实现Spring的表达式，需要编写一个完整的能解析表达式的复杂功能，而不能仅仅依靠判断 `${` 开头、 `}` 结尾。由于解析表达式的功能过于复杂，因此我们决定不予支持。

Spring还支持更复杂的 `#{...}` 表达式，它可以引用Bean、调用方法、计算等：

```
#{appBean.version() + 1}
```

为此Spring专门提供了一个 `spring-expression` 库来支持这种更复杂的功能。按照一切从简的原则，我们不支持 `#{...}` 表达式。

实现类型转换

除了String类型外，@Value注入时，还允许 `boolean` 、 `int` 、 `Long` 等基本类型和包装类型。此外，Spring还支持 `Date` 、 `Duration` 等类型的注入。我们既要实现类型转换，又不能写死，否则，将来支持新的类型时就要改代码。

我们先写类型转换的入口查询：

```
@Nullable
public <T> T getProperty(String key, Class<T> targetType) {
    String value = getProperty(key);
    if (value == null) {
        return null;
    }
    // 转换为指定类型:
    return convert(targetType, value);
}
```

再考虑如何实现 `convert()` 方法。对于类型转换，实际上是从String转换为指定类型，因此，用函数式接口 `Function<String, Object>` 就很合适：

```
public class PropertyResolver {
    // 存储Class -> Function:
    Map<Class<?>, Function<String, Object>> converters = new HashMap<>();

    // 转换到指定Class类型:
    <T> T convert(Class<?> clazz, String value) {
        Function<String, Object> fn = this.converters.get(clazz);
        if (fn == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Unsupported value type: " +
clazz.getName());
        }
        return (T) fn.apply(value);
    }
}
```

这样我们就已经实现了类型转换，下一步是把各种要转换的类型放到 `Map` 里。在构造方法中，我们放入常用的基本类型转换器：

```
public PropertyResolver(Properties props) {
    ...
    // String类型:
    converters.put(String.class, s -> s);
    // boolean类型:
    converters.put(boolean.class, s -> Boolean.parseBoolean(s));
    converters.put(Boolean.class, s -> Boolean.valueOf(s));
```

```
    // int类型:
    converters.put(int.class, s -> Integer.parseInt(s));
    converters.put(Integer.class, s -> Integer.valueOf(s));
    // 其他基本类型...
    // Date/Time类型:
    converters.put(LocalDate.class, s -> LocalDate.parse(s));
    converters.put(LocalTime.class, s -> LocalTime.parse(s));
    converters.put(LocalDateTime.class, s -> LocalDateTime.parse(s));
    converters.put(ZonedDateTime.class, s -> ZonedDateTime.parse(s));
    converters.put(Duration.class, s -> Duration.parse(s));
    converters.put(ZoneId.class, s -> ZoneId.of(s));
}
```

如果再加一个 `registerConverter()` 接口，我们就可以对外提供扩展，让用户自己编写自己定制的Converter，这样一来，我们的PropertyResolver就准备就绪，读取配置的初始化代码如下：

```
// Java标准库读取properties文件:
Properties props = new Properties();
props.load(fileInput); // 文件输入流
// 构造PropertyResolver:
PropertyResolver pr = new PropertyResolver(props);
// 后续代码调用...
// pr.getProperty("${app.version:1}", int.class)
```

使用YAML配置

Spring Framework并不支持YAML配置，但Spring Boot支持。因为YAML配置比 `.properties` 要方便，所以我们把对YAML的支持也集成进来。

首先引入依赖 `org.yaml:snakeyaml:2.0` ，然后我们写一个 `YamlUtils` ，通过 `loadYamlAsPlainMap()` 方法读取一个YAML文件，并返回 `Map` ：

```
public class YamlUtils {
    public static Map<String, Object> loadYamlAsPlainMap(String path) {
        return ...
    }
}
```

我们把YAML格式：

```
app:
  title: Summer Framework
  version: ${VER:1.0}
```

读取为 `Map` ，其中，每个key都是完整路径，相当于把它变为 `.properties` 格式：

```
app.title=Summer Framework
app.version=${VER:1.0}
```

这样我们无需改动 `PropertyResolver` 的代码，使用YAML时，可以按如下方式读取配置：

```
Map<String, Object> configs =
YamlUtils.loadYamlAsPlainMap("/application.yml");
Properties props = new Properties();
props.putAll(config);
PropertyResolver pr = new PropertyResolver(props);
```

读取YAML的代码比较简单，注意要点如下：

1. SnakeYaml默认读出的结构是树形结构，需要“拍平”成 `abc.xyz` 格式的key；

2. SnakeYaml默认会自动转换 `int` 、 `boolean` 等value，需要禁用自动转换，把所有value均按 `String` 类型返回。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

创建BeanDefinition

原文链接

现在，我们可以用 `ResourceResolver` 扫描Class，用 `PropertyResolver` 获取配置，下面，我们开始实现IoC容器。

在IoC容器中，每个Bean都有一个唯一的名字标识。Spring还允许为一个Bean定义多个名字，这里我们简化一下，一个Bean只允许一个名字，因此，很容易想到用一个 `Map<String, Object>` 保存所有的Bean：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext {
    Map<String, Object> beans;
}
```

这么做不是不可以，但是丢失了大量Bean的定义信息，不便于我们创建Bean以及解析依赖关系。合理的方式是先定义 `BeanDefinition` ，它能从Annotation中提取到足够的信息，便于后续创建Bean、设置依赖、调用初始化方法等：

```
public class BeanDefinition {
    // 全局唯一的Bean Name:
    String name;

    // Bean的声明类型:
    Class<?> beanClass;

    // Bean的实例:
    Object instance = null;

    // 构造方法/null:
    Constructor<?> constructor;

    // 工厂方法名称/null:
    String factoryName;

    // 工厂方法/null:
    Method factoryMethod;

    // Bean的顺序:
```

```
    int order;

    // 是否标识@Primary:
    boolean primary;

    // init/destroy方法名称:
    String initMethodName;
    String destroyMethodName;

    // init/destroy方法:
    Method initMethod;
    Method destroyMethod;
}
```

对于自己定义的带 `@Component` 注解的Bean，我们需要获取Class类型，获取构造方法来创建Bean，然后收集 `@PostConstruct` 和 `@PreDestroy` 标注的初始化与销毁的方法，以及其他信息，如 `@Order` 定义Bean的内部排序顺序， `@Primary` 定义存在多个相同类型时返回哪个“主要”Bean。一个典型的定义如下：

```
@Component
public class Hello {
    @PostConstruct
    void init() {}

    @PreDestroy
    void destroy() {}
}
```

对于 `@Configuration` 定义的 `@Bean` 方法，我们把它看作Bean的工厂方法，我们需要获取方法返回值作为Class类型，方法本身作为创建Bean的 `factoryMethod` ，然后收集 `@Bean` 定义的 `initMethod` 和 `destroyMethod` 标识的初始化于销毁的方法名，以及其他 `@Order` 、 `@Primary` 等信息。一个典型的定义如下：

```
@Configuration
public class AppConfig {
    @Bean(initMethod="init", destroyMethod="close")
    DataSource createDataSource() {
        return new HikariDataSource(...);
```

```
    }
}
```

Bean的声明类型

这里我们要特别注意一点，就是Bean的声明类型。对于 `@Component` 定义的Bean，它的声明类型就是其Class本身。然而，对于用 `@Bean` 工厂方法创建的Bean，它的声明类型与实际类型不一定是同一类型。上述 `createDataSource()` 定义的Bean，声明类型是 `DataSource` ，实际类型却是某个子类，例如 `HikariDataSource` ，因此要特别注意，我们在 `BeanDefinition` 中，存储的 `beanClass` 是**声明类型**，实际类型不必存储，因为可以通过 `instance.getClass()` 获得：

```
public class BeanDefinition {
    // Bean的声明类型:
    Class<?> beanClass;

    // Bean的实例:
    Object instance = null;
}
```

这也引出了下一个问题：如果我们按照名字查找Bean或BeanDefinition，要么拿到唯一实例，要么不存在，即通过查询 `Map<String, BeanDefinition>` 即可完成：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext {
    Map<String, BeanDefinition> beans;

    // 根据Name查找BeanDefinition，如果Name不存在，返回null
    @Nullable
    public BeanDefinition findBeanDefinition(String name) {
        return this.beans.get(name);
    }
}
```

但是通过类型查找Bean或BeanDefinition，我们没法定义一个 `Map<Class, BeanDefinition>` ，原因就是Bean的声明类型与实际类型不一定相符，举个例子：

```
@Configuration
public class AppConfig {
    @Bean
```

```
    AtomicInteger counter() {
        return new AtomicInteger();
    }

    @Bean
    Number bigInt() {
        return new BigInteger("1000000000");
    }
}
```

当我们调用 `getBean(AtomicInteger.class)` 时，我们会获得 `counter()` 方法创建的唯一实例，但是，当我们调用 `getBean(Number.class)` 时， `counter()` 方法和 `bigInt()` 方法创建的实例均符合要求，此时，如果有且仅有一个标注了 `@Primary` ，就返回标注了 `@Primary` 的Bean，否则，直接报 `NoUniqueBeanDefinitionException` 错误。

因此，对于 `getBean(Class)` 方法，必须遍历找出所有符合类型的Bean，如果不唯一，再判断 `@Primary` ，才能返回唯一Bean或报错。

我们编写一个找出所有类型的 `findBeanDefinitions(Class)` 方法如下：

```
// 根据Type查找若干个BeanDefinition，返回0个或多个：
List<BeanDefinition> findBeanDefinitions(Class<?> type) {
    return this.beans.values().stream()
        // 按类型过滤：
        .filter(def -> type.isAssignableFrom(def.getBeanClass()))
        // 排序：
        .sorted().collect(Collectors.toList());
    }
}
```

我们再编写一个 `findBeanDefinition(Class)` 方法如下：

```
// 根据Type查找某个BeanDefinition，如果不存在返回null，如果存在多个返回@Primary标注的一个：
@Nullable
public BeanDefinition findBeanDefinition(Class<?> type) {
    List<BeanDefinition> defs = findBeanDefinitions(type);
    if (defs.isEmpty()) { // 没有找到任何BeanDefinition
        return null;
    }
```

```
    if (defs.size() == 1) { // 找到唯一一个
        return defs.get(0);
    }
    // 多于一个时，查找@Primary:
    List<BeanDefinition> primaryDefs = defs.stream().filter(def ->
def.isPrimary()).collect(Collectors.toList());
    if (primaryDefs.size() == 1) { // @Primary唯一
        return primaryDefs.get(0);
    }
    if (primaryDefs.isEmpty()) { // 不存在@Primary
        throw new NoUniqueBeanDefinitionException(String.format("Multiple
bean with type '%s' found, but no @Primary specified.", type.getName()));
    } else { // @Primary不唯一
        throw new NoUniqueBeanDefinitionException(String.format("Multiple
bean with type '%s' found, and multiple @Primary specified.",
type.getName()));
    }
}
```

现在，我们已经定义好了数据结构，下面开始获取所有 `BeanDefinition` 信息，实际分两步：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext {
    Map<String, BeanDefinition> beans;

    public AnnotationConfigApplicationContext(Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) {
        // 扫描获取所有Bean的Class类型:
        Set<String> beanClassNames = scanForClassNames(configClass);

        // 创建Bean的定义:
        this.beans = createBeanDefinitions(beanClassNames);
    }
    ...
}
```

第一步是扫描指定包下的所有Class，然后返回Class名字，这一步比较简单：

```
Set<String> scanForClassNames(Class<?> configClass) {
    // 获取@ComponentScan注解:
    ComponentScan scan = ClassUtils.findAnnotation(configClass,
```

```
ComponentScan.class);
    // 获取注解配置的package名字,未配置则默认当前类所在包:
    String[] scanPackages = scan == null || scan.value().length == 0 ? new
String[] { configClass.getPackage().getName() } : scan.value();

    Set<String> classNameSet = new HashSet<>();
    // 依次扫描所有包:
    for (String pkg : scanPackages) {
        logger.atDebug().log("scan package: {}", pkg);
        // 扫描一个包:
        var rr = new ResourceResolver(pkg);
        List<String> classList = rr.scan(res -> {
            // 遇到以.class结尾的文件，就将其转换为Class全名:
            String name = res.name();
            if (name.endsWith(".class")) {
                return name.substring(0, name.length() - 6).replace("/",
".").replace("\\", ".");
            }
            return null;
        });
        // 扫描结果添加到Set:
        classNameSet.addAll(classList);
    }

    // 继续查找@Import(Xyz.class)导入的Class配置:
    Import importConfig = configClass.getAnnotation(Import.class);
    if (importConfig != null) {
        for (Class<?> importConfigClass : importConfig.value()) {
            String importClassName = importConfigClass.getName();
            classNameSet.add(importClassName);
        }
    }
    return classNameSet;
}
```

注意到扫描结果是指定包的所有Class名称，以及通过 `@Import` 导入的Class名称，下一步才会真正处理各种注解：

```
Map<String, BeanDefinition> createBeanDefinitions(Set<String> classNameSet)
{
```

```
    Map<String, BeanDefinition> defs = new HashMap<>();
    for (String className : classNameSet) {
        // 获取Class:
        Class<?> clazz = null;
        try {
            clazz = Class.forName(className);
        } catch (ClassNotFoundException e) {
            throw new BeanCreationException(e);
        }
        // 是否标注@Component?
        Component component = ClassUtils.findAnnotation(clazz,
Component.class);
        if (component != null) {
            // 获取Bean的名称:
            String beanName = ClassUtils.getBeanName(clazz);
            var def = new BeanDefinition(
                beanName, clazz, getSuitableConstructor(clazz),
                getOrder(clazz), clazz.isAnnotationPresent(Primary.class),
                // init/destroy方法名称:
                null, null,
                // 查找@PostConstruct方法:
                ClassUtils.findAnnotationMethod(clazz,
PostConstruct.class),
                // 查找@PreDestroy方法:
                ClassUtils.findAnnotationMethod(clazz, PreDestroy.class));
            addBeanDefinitions(defs, def);
            // 查找是否有@Configuration:
            Configuration configuration = ClassUtils.findAnnotation(clazz,
Configuration.class);
            if (configuration != null) {
                // 查找@Bean方法:
                scanFactoryMethods(beanName, clazz, defs);
            }
        }
    }
    return defs;
}
```

上述代码需要注意的一点是，查找 `@Component` 时，并不是简单地在Class定义查看 `@Component` 注解，因为Spring的 `@Component` 是可以扩展的，例如，标记为 `Controller` 的

Class也符合要求：

```
@Controller
public class MvcController {...}
```

原因就在于，`@Controller`注解的定义包含了`@Component`：

```
@Target(ElementType.TYPE)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
@Documented
@Component
public @interface Controller {
    String value() default "";
}
```

所以，判断是否存在`@Component`，不但要在当前类查找`@Component`，还要在当前类的所有注解上，查找该注解是否有`@Component`，因此，我们编写了一个能递归查找注解的方法：

```
public class ClassUtils {
    public static <A extends Annotation> A findAnnotation(Class<?> target,
Class<A> annoClass) {
        A a = target.getAnnotation(annoClass);
        for (Annotation anno : target.getAnnotations()) {
            Class<? extends Annotation> annoType = anno.annotationType();
            if (!annoType.getPackageName().equals("java.lang.annotation"))
{
                A found = findAnnotation(annoType, annoClass);
                if (found != null) {
                    if (a != null) {
                        throw new BeanDefinitionException("Duplicate @" +
annoClass.getSimpleName() + " found on class " + target.getSimpleName());
                    }
                    a = found;
                }
            }
        }
        return a;
    }
}
```

带有 `@Configuration` 注解的Class，视为Bean的工厂，我们需要继续在 `scanFactoryMethods()` 中查找 `@Bean` 标注的方法：

```
void scanFactoryMethods(String factoryBeanName, Class<?> clazz, Map<String,
BeanDefinition> defs) {
    for (Method method : clazz.getDeclaredMethods()) {
        // 是否带有@Bean标注:
        Bean bean = method.getAnnotation(Bean.class);
        if (bean != null) {
            // Bean的声明类型是方法返回类型:
            Class<?> beanClass = method.getReturnType();
            var def = new BeanDefinition(
                ClassUtils.getBeanName(method), beanClass,
                factoryBeanName,
                // 创建Bean的工厂方法:
                method,
                // @Order
                getOrder(method),
                // 是否存在@Primary标注?
                method.isAnnotationPresent(Primary.class),
                // init方法名称:
                bean.initMethod().isEmpty() ? null : bean.initMethod(),
                // destroy方法名称:
                bean.destroyMethod().isEmpty() ? null :
bean.destroyMethod(),
                // @PostConstruct / @PreDestroy方法:
                null, null);
            addBeanDefinitions(defs, def);
        }
    }
}
```

注意到 `@Configuration` 注解本身又用 `@Component` 注解修饰了，因此，对于一个 `@Configuration` 来说：

```
@Configuration
public class DateTimeConfig {
    @Bean
    LocalDateTime local() { return LocalDateTime.now(); }
```

```
    @Bean
    ZonedDateTime zoned() { return ZonedDateTime.now(); }
}
```

实际上创建了3个 `BeanDefinition` ：

- DateTimeConfig本身；
- LocalDateTime；
- ZonedDateTime。

不创建 `DateTimeConfig` 行不行？不行，因为后续没有 `DateTimeConfig` 的实例，无法调用 `local()` 和 `zoned()` 方法。因为当前我们只创建了 `BeanDefinition` ，所以对于 `LocalDateTime` 和 `ZonedDateTime` 的 `BeanDefinition` 来说，还必须保存 `DateTimeConfig` 的名字，将来才能通过名字查找 `DateTimeConfig` 的实例。

有的同学注意到我们同时存储了 `initMethodName` 和 `initMethod` ，以及 `destroyMethodName` 和 `destroyMethod` ，这是因为在 `@Component` 声明的Bean中，我们可以根据 `@PostConstruct` 和 `@PreDestroy` 直接拿到Method本身，而在 `@Bean` 声明的Bean中，我们拿不到Method，只能从 `@Bean` 注解提取出字符串格式的方法名称，因此，存储在 `BeanDefinition` 的方法名称与方法，其中至少有一个为 `null` 。

最后，仔细编写 `BeanDefinition` 的 `toString()` 方法，使之能打印出详细的信息。我们编写测试，运行，打印出每个 `BeanDefinition` 如下：

```
define bean: BeanDefinition [name=annotationDestroyBean,
beanClass=com.itranswarp.scan.destroy.AnnotationDestroyBean, factory=null,
init-method=null, destroy-method=destroy, primary=false, instance=null]

define bean: BeanDefinition [name=nestedBean,
beanClass=com.itranswarp.scan.nested.OuterBean$NestedBean, factory=null,
init-method=null, destroy-method=null, primary=false, instance=null]

define bean: BeanDefinition [name=createSpecifyInitBean,
beanClass=com.itranswarp.scan.init.SpecifyInitBean,
factory=SpecifyInitConfiguration.createSpecifyInitBean(String, String),
init-method=null, destroy-method=null, primary=false, instance=null]

...
```

现在，我们已经能扫描并创建所有的 `BeanDefinition` ，只是目前每个 `BeanDefinition` 内部的 `instance` 还是 `null` ，因为我们后续才会创建真正的Bean。

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

创建Bean实例

原文链接

当我们拿到所有 `BeanDefinition` 之后，就可以开始创建Bean的实例了。

在创建Bean实例之前，我们先看看Spring支持的4种依赖注入模式：

1. 构造方法注入，例如：

```
@Component
public class Hello {
    JdbcTemplate jdbcTemplate;
    public Hello(@Autowired JdbcTemplate jdbcTemplate) {
        this.jdbcTemplate = jdbcTemplate;
    }
}
```

2. 工厂方法注入，例如：

```
@Configuration
public class AppConfig {
    @Bean
    Hello hello(@Autowired JdbcTemplate jdbcTemplate) {
        return new Hello(jdbcTemplate);
    }
}
```

3. Setter方法注入，例如：

```
@Component
public class Hello {
    JdbcTemplate jdbcTemplate;

    @Autowired
    void setJdbcTemplate(JdbcTemplate jdbcTemplate) {
        this.jdbcTemplate = jdbcTemplate;
    }
}
```

4. 字段注入，例如：

```
@Component
public class Hello {
    @Autowired
    JdbcTemplate jdbcTemplate;
}
```

然而我们仔细分析，发现这4种注入方式实际上是有区别的。

区别就在于，前两种方式，即构造方法注入和工厂方法注入，Bean的创建与注入是一体的，我们无法把它们分成两个阶段，因为无法中断方法内部代码的执行。而后两种方式，即Setter方法注入和属性注入，Bean的创建与注入是可以分开的，即先创建Bean实例，再用反射调用方法或字段，完成注入。

我们再分析一下循环依赖的问题。循环依赖，即A、B互相依赖，或者A依赖B，B依赖C，C依赖A，形成了一个闭环。IoC容器对Bean进行管理，可以解决部分循环依赖问题，但不是所有循环依赖都能解决。

我们先来看不能解决的循环依赖问题，假定下列代码定义的A、B两个Bean：

```
class A {
    final B b;
    A(B b) { this.b = b; }
}

class B {
    final A a;
    B(A a) { this.a = a; }
}
```

这种通过构造方法注入依赖的两个Bean，如果存在循环依赖，是无解的，因为我们不用IoC，自己写Java代码也写不出正确创建两个Bean实例的代码。

因此，我们把构造方法注入和工厂方法注入的依赖称为强依赖，不能有强依赖的循环依赖，否则只能报错。

后两种注入方式形成的依赖则是弱依赖，假定下列代码定义的A、B两个Bean：

```
class A {
    B b;
}

class B {
    A a;
}
```

这种循环依赖则很容易解决，因为我们可以分两步，先分别实例化Bean，再注入依赖：

```
// 第一步,实例化:
A a = new A();
B b = new B();
// 第二步,注入:
a.b = b;
b.a = a;
```

所以，对于IoC容器来说，创建Bean的过程分两步：

1. 创建Bean的实例，此时必须注入强依赖；

2. 对Bean实例进行Setter方法注入和字段注入。

第一步如果遇到循环依赖则直接报错，第二步则不需要关心有没有循环依赖。

我们先实现第一步：创建Bean的实例，同时注入强依赖。

在上一节代码中，我们已经获得了所有的 `BeanDefinition` ：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext {
    PropertyResolver propertyResolver;
    Map<String, BeanDefinition> beans;

    public AnnotationConfigApplicationContext(Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) {
        this.propertyResolver = propertyResolver;
        // 扫描获取所有Bean的Class类型:
        Set<String> beanClassNames = scanForClassNames(configClass);
        // 创建Bean的定义:
        this.beans = createBeanDefinitions(beanClassNames);
```

```
    }
}
```

下一步是创建Bean的实例，同时注入强依赖。此阶段必须检测循环依赖。检测循环依赖其实非常简单，就是定义一个 `Set<String>` 跟踪当前正在创建的所有Bean的名称：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext {
    Set<String> creatingBeanNames;
    ...
}
```

创建Bean实例我们用方法 `createBeanAsEarlySingleton()` 实现，在方法开始处检测循环依赖：

```
// 创建一个Bean，但不进行字段和方法级别的注入。如果创建的Bean不是Configuration，则在构造方法/工厂方法中注入的依赖Bean会自动创建
public Object createBeanAsEarlySingleton(BeanDefinition def) {
    if (!this.creatingBeanNames.add(def.getName())) {
        // 检测到重复创建Bean导致的循环依赖:
        throw new UnsatisfiedDependencyException();
    }
    ...
}
```

由于 `@Configuration` 标识的Bean实际上是工厂，它们必须先实例化，才能实例化其他普通Bean，所以我们先把 `@Configuration` 标识的Bean创建出来，再创建普通Bean：

```
public AnnotationConfigApplicationContext(Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) {
    this.propertyResolver = propertyResolver;
    // 扫描获取所有Bean的Class类型:
    Set<String> beanClassNames = scanForClassNames(configClass);
    // 创建Bean的定义:
    this.beans = createBeanDefinitions(beanClassNames);

    // 创建BeanName检测循环依赖:
    this.creatingBeanNames = new HashSet<>();

    // 创建@Configuration类型的Bean:
    this.beans.values().stream()
            // 过滤出@Configuration:
```

```
            .filter(this::isConfigurationDefinition).sorted().map(def -> {
                // 创建Bean实例:
                createBeanAsEarlySingleton(def);
                return def.getName();
            }).collect(Collectors.toList());

    // 创建其他普通Bean:
    List<BeanDefinition> defs = this.beans.values().stream()
            // 过滤出instance==null的BeanDefinition:
            .filter(def -> def.getInstance() == null)
            .sorted().collect(Collectors.toList());
    // 依次创建Bean实例:
    defs.forEach(def -> {
        // 如果Bean未被创建(可能在其他Bean的构造方法注入前被创建):
        if (def.getInstance() == null) {
            // 创建Bean:
            createBeanAsEarlySingleton(def);
        }
    });
}
```

剩下的工作就是把 `createBeanAsEarlySingleton()` 补充完整：

```
public Object createBeanAsEarlySingleton(BeanDefinition def) {
    // 检测循环依赖:
    if (!this.creatingBeanNames.add(def.getName())) {
        throw new UnsatisfiedDependencyException();
    }

    // 创建方式：构造方法或工厂方法:
    Executable createFn = def.getFactoryName() == null ?
        def.getConstructor() : def.getFactoryMethod();

    // 创建参数:
    Parameter[] parameters = createFn.getParameters();
    Object[] args = new Object[parameters.length];
    for (int i = 0; i < parameters.length; i++) {
        // 从参数获取@Value和@Autowired:
        Value value = ...
        Autowired autowired = ...
        // 检查Value和Autowired
```

```
            ...
            // 参数类型:
            Class<?> type = param.getType();
            if (value != null) {
                // 参数设置为查询的@Value:
                args[i] =
this.propertyResolver.getRequiredProperty(value.value(), type);
            } else {
                // 参数是@Autowired,查找依赖的BeanDefinition:
                BeanDefinition dependsOnDef = name.isEmpty() ?
findBeanDefinition(type) : findBeanDefinition(name, type);
                // 获取依赖Bean的实例:
                Object autowiredBeanInstance = dependsOnDef.getInstance();
                if (autowiredBeanInstance == null) {
                    // 当前依赖Bean尚未初始化，递归调用初始化该依赖Bean:
                    autowiredBeanInstance =
createBeanAsEarlySingleton(dependsOnDef);
                }
                // 参数设置为依赖的Bean实例:
                args[i] = autowiredBeanInstance;
            }
        }
        // 已拿到所有方法参数,创建Bean实例:
        Object instance = ...
        // 设置实例到BeanDefinition:
        def.setInstance(instance);
        // 返回实例:
        return def.getInstance();
    }
```

注意到递归调用：

```
    public Object createBeanAsEarlySingleton(BeanDefinition def) {
        ...
        Object[] args = new Object[parameters.length];
        for (int i = 0; i < parameters.length; i++) {
            ...
            // 获取依赖Bean的实例:
            Object autowiredBeanInstance = dependsOnDef.getInstance();
            if (autowiredBeanInstance == null && !isConfiguration) {
                // 当前依赖Bean尚未初始化，递归调用初始化该依赖Bean:
```

```
            autowiredBeanInstance =
createBeanAsEarlySingleton(dependsOnDef);
        }
        ...
    }
    ...
}
```

假设如下的Bean依赖：

```
@Component
class A {
    // 依赖B,C:
    A(@Autowired B, @Autowired C) {}
}

@Component
class B {
    // 依赖C:
    B(@Autowired C) {}
}

@Component
class C {
    // 无依赖:
    C() {}
}
```

如果按照A、B、C的顺序创建Bean实例，那么系统流程如下：

1. 准备创建A；
2. 检测到依赖B：未就绪；
    1. 准备创建B：
    2. 检测到依赖C：未就绪；
        1. 准备创建C；
        2. 完成创建C；
    3. 完成创建B；
3. 检测到依赖C，已就绪；

4. 完成创建A。

如果按照B、C、A的顺序创建Bean实例，那么系统流程如下：

1. 准备创建B；
2. 检测到依赖C：未就绪；
    1. 准备创建C；
    2. 完成创建C；
3. 完成创建B；
4. 准备创建A；
5. 检测到依赖B，已就绪；
6. 检测到依赖C，已就绪；
7. 完成创建A。

可见无论以什么顺序创建，C总是最先被实例化，A总是最后被实例化。

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

初始化Bean

原文链接

在创建Bean实例的过程中，我们已经完成了强依赖的注入。下一步，是根据Setter方法和字段完成弱依赖注入，接着调用用 `@PostConstruct` 标注的init方法，就完成了所有Bean的初始化。

这一步相对比较简单，因为只涉及到查找依赖的 `@Value` 和 `@Autowired` ，然后用反射完成调用即可：

```
public AnnotationConfigApplicationContext(Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) {
    ...

    // 通过字段和set方法注入依赖:
    this.beans.values().forEach(def -> {
        injectBean(def);
    });

    // 调用init方法:
    this.beans.values().forEach(def -> {
        initBean(def);
    });
}
```

使用Setter方法和字段注入时，要注意一点，就是不仅要在当前类查找，还要在父类查找，因为有些 `@Autowired` 写在父类，所有子类都可使用，这样更方便。注入弱依赖代码如下：

```
// 在当前类及父类进行字段和方法注入:
void injectProperties(BeanDefinition def, Class<?> clazz, Object bean) {
    // 在当前类查找Field和Method并注入:
    for (Field f : clazz.getDeclaredFields()) {
        tryInjectProperties(def, clazz, bean, f);
    }
    for (Method m : clazz.getDeclaredMethods()) {
        tryInjectProperties(def, clazz, bean, m);
    }
    // 在父类查找Field和Method并注入:
    Class<?> superClazz = clazz.getSuperclass();
```

```
    if (superClazz != null) {
        // 递归调用:
        injectProperties(def, superClazz, bean);
    }
}

// 注入单个属性
void tryInjectProperties(BeanDefinition def, Class<?> clazz, Object bean,
AccessibleObject acc) {
    ...
}
```

弱依赖注入完成后，再循环一遍所有的 `BeanDefinition` ，对其调用 `init` 方法，完成最后一步初始化：

```
void initBean(BeanDefinition def) {
    // 调用init方法:
    callMethod(def.getInstance(), def.getInitMethod(),
def.getInitMethodName());
}
```

处理 `@PreDestroy` 方法更简单，在 `ApplicationContext` 关闭时遍历所有Bean，调用 `destroy` 方法即可。

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现BeanPostProcessor

原文链接

现在，我们已经完成了扫描Class名称、创建BeanDefinition、创建Bean实例、初始化Bean，理论上一个可用的IoC容器就已经就绪。

然而，`BeanPostProcessor`的出现改变了这一切。Spring允许用户自定义一种特殊的Bean，即实现了`BeanPostProcessor`接口，它有什么用呢？其实就是替换Bean。我们举个例子，下面的代码是基于Spring代码：

```
@Configuration
@ComponentScan
public class AppConfig {

    public static void main(String[] args) {
        var ctx = new AnnotationConfigApplicationContext(AppConfig.class);
        // 可以获取到ZonedDateTime:
        ZonedDateTime dt = ctx.getBean(ZonedDateTime.class);
        System.out.println(dt);
        // 错误:NoSuchBeanDefinitionException:
        System.out.println(ctx.getBean(LocalDateTime.class));
    }

    // 创建LocalDateTime实例
    @Bean
    public LocalDateTime localDateTime() {
        return LocalDateTime.now();
    }

    // 实现一个BeanPostProcessor
    @Bean
    BeanPostProcessor replaceLocalDateTime() {
        return new BeanPostProcessor() {
            @Override
            public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean,
String beanName) throws BeansException {
                // 将LocalDateTime类型实例替换为ZonedDateTime类型实例:
                if (bean instanceof LocalDateTime) {
                    return ZonedDateTime.now();
```

```
                }
                return bean;
            }
        };
    }
}
```

运行可知，我们定义的 `@Bean` 类型明明是 `LocalDateTime` 类型，但却被另一个 `BeanPostProcessor` 替换成了 `ZonedDateTime` ，于是，调用 `getBean(ZonedDateTime.class)` 可以拿到替换后的Bean，调用 `getBean(LocalDateTime.class)` 会报错，提示找不到Bean。那么原始的Bean哪去了？答案是被 `BeanPostProcessor` 扔掉了。

可见， `BeanPostProcessor` 是一种特殊Bean，它的作用是根据条件替换某些Bean。上述的例子中， `LocalDateTime` 被替换为 `ZonedDateTime` 其实没啥意义，但实际应用中，把原始Bean替换为代理后的Bean是非常常见的，比如下面的基于Spring的代码：

```
@Configuration
@ComponentScan
public class AppConfig {

    public static void main(String[] args) {
        var ctx = new AnnotationConfigApplicationContext(AppConfig.class);
        UserService u = ctx.getBean(UserService.class);
        System.out.println(u.getClass().getSimpleName()); //
UserServiceProxy
        u.register("bob@example.com", "bob12345");
    }

    @Bean
    BeanPostProcessor createProxy() {
        return new BeanPostProcessor() {
            @Override
            public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean,
String beanName) throws BeansException {
                // 实现事务功能:
                if (bean instanceof UserService u) {
                    return new UserServiceProxy(u);
                }
                return bean;
            }
```

```
        };
    }
}

@Component
class UserService {
    public void register(String email, String password) {
        System.out.println("INSERT INTO ...");
    }
}

// 代理类:
class UserServiceProxy extends UserService {
    UserService target;

    public UserServiceProxy(UserService target) {
        this.target = target;
    }

    @Override
    public void register(String email, String password) {
        System.out.println("begin tx");
        target.register(email, password);
        System.out.println("commit tx");
    }
}
```

如果执行上述代码，打印出的Bean类型不是 `UserService` ，而是 `UserServiceProxy` ，因此，调用 `register()` 会打印出 `begin tx` 和 `commit tx` ，说明“事务”生效了。

迄今为止，创建Proxy似乎没有什么影响。让我们把代码再按实际情况扩展一下， `UserService` 是用户编写的业务代码，需要注入 `JdbcTemplate` ：

```
@Component
class UserService {
    @Autowired JdbcTemplate jdbcTemplate;

    public void register(String email, String password) {
        jdbcTemplate.update("INSERT INTO ...");
```

```
    }
}
```

而 `PostBeanProcessor` 一般由框架本身提供事务功能，所以它会动态创建一个 `UserServiceProxy` ：

```
class UserServiceProxy extends UserService {
    UserService target;

    public UserServiceProxy(UserService target) {
        this.target = target;
    }

    @Override
    public void register(String email, String password) {
        System.out.println("begin tx");
        target.register(email, password);
        System.out.println("commit tx");
    }
}
```

调用用户注册的页面由 `MvcController` 控制，因此，将 `UserService` 注入到 `MvcController` ：

```
@Controller
class MvcController {
    @Autowired UserService userService;

    @PostMapping("/register")
    void register() {
        userService.register(...);
    }
}
```

一开始，由IoC容器创建的Bean包括：

- JdbcTemplate
- UserService
- MvcController

接着，由于 `BeanPostProcessor` 的介入，原始的 `UserService` 被替换为 `UserServiceProxy` ：

- JdbcTemplate
- UserServiceProxy
- MvcController

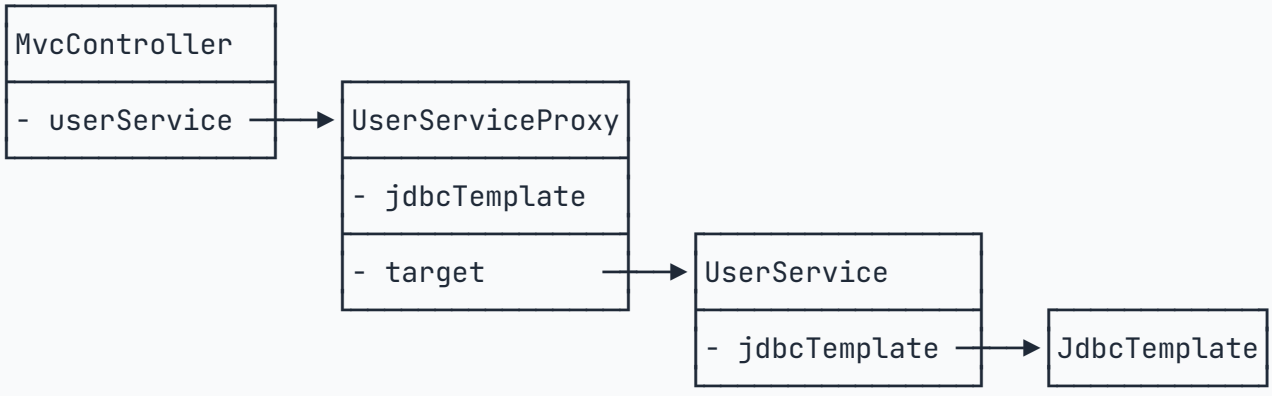
那么问题来了：注意到 `UserServiceProxy` 是从 `UserService` 继承的，它也有一个 `@Autowired JdbcTemplate` ，那 `JdbcTemplate` 实例应注入到原始的 `UserService` 还是 `UserServiceProxy` ？

从业务逻辑出发， `JdbcTemplate` 实例必须注入到原始的 `UserService` ，否则，代理类 `UserServiceProxy` 执行 `target.register()` 时，相当于对原始的 `UserService` 调用 `register()` 方法，如果 `JdbcTemplate` 没有注入，将直接报 `NullPointerException` 错误。

这时第二个问题又来了： `MvcController` 需要注入的 `UserService` ，应该是原始的 `UserService` 还是 `UserServiceProxy` ？

还是从业务逻辑出发， `MvcController` 需要注入的 `UserService` 必须是 `UserServiceProxy` ，否则，事务不起作用。

我们用图描述一下注入关系：



注意到上图的 `UserService` 已经脱离了IoC容器的管理，因为此时 `UserService` 对应的 `BeanDefinition` 中，存放的instance是 `UserServiceProxy` 。

可见，引入 `BeanPostProcessor` 可以实现Proxy机制，但也让依赖注入变得更加复杂。

但是我们仔细分析依赖关系，还是可以总结出两条原则：

1. 一个Bean如果被Proxy替换，则依赖它的Bean应注入Proxy，即上图的 `MvcController` 应注入 `UserServiceProxy` ；

2. 一个Bean如果被Proxy替换，如果要注入依赖，则应该注入到原始对象，即上图的 `JdbcTemplate` 应注入到原始的 `UserService` 。

基于这个原则，要满足条件1是很容易的，因为只要创建Bean完成后，立刻调用 `BeanPostProcessor` 就实现了替换，后续其他Bean引用的肯定就是Proxy了。先改造创建Bean的流程，在创建 `@Configuration` 后，接着创建 `BeanPostProcessor` ，再创建其他普通Bean：

```
public AnnotationConfigApplicationContext(Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) {
    ...
    // 创建@Configuration类型的Bean:
    this.beans.values().stream()
            // 过滤出@Configuration:
            .filter(this::isConfigurationDefinition).sorted().map(def -> {
                createBeanAsEarlySingleton(def);
                return def.getName();
            }).collect(Collectors.toList());

    // 创建BeanPostProcessor类型的Bean:
    List<BeanPostProcessor> processors = this.beans.values().stream()
            // 过滤出BeanPostProcessor:
            .filter(this::isBeanPostProcessorDefinition)
            // 排序:
            .sorted()
            // 创建BeanPostProcessor实例:
            .map(def -> {
                return (BeanPostProcessor) createBeanAsEarlySingleton(def);
            }).collect(Collectors.toList());
    this.beanPostProcessors.addAll(processors);

    // 创建其他普通Bean:
    createNormalBeans();
    ...
}
```

再继续修改 `createBeanAsEarlySingleton()` ，创建Bean实例后，调用 `BeanPostProcessor` 处理：

```
public Object createBeanAsEarlySingleton(BeanDefinition def) {
    ...

    // 创建Bean实例:
    Object instance = ...;
    def.setInstance(instance);

    // 调用BeanPostProcessor处理Bean:
    for (BeanPostProcessor processor : beanPostProcessors) {
        Object processed =
processor.postProcessBeforeInitialization(def.getInstance(),
def.getName());
        // 如果一个BeanPostProcessor替换了原始Bean，则更新Bean的引用:
        if (def.getInstance() != processed) {
            def.setInstance(processed);
        }
    }
    return def.getInstance();
}
```

现在，如果一个Bean被替换为Proxy，那么 `BeanDefinition` 中的 `instance` 已经是Proxy了，这时，对这个Bean进行依赖注入会有问题，因为注入的是Proxy而不是原始Bean，怎么办？

这时我们要思考原始Bean去哪了？原始Bean实际上是被 `BeanPostProcessor` 给丢了！如果 `BeanPostProcessor` 能保存原始Bean，那么，注入前先找到原始Bean，就可以把依赖正确地注入给原始Bean。我们给 `BeanPostProcessor` 加一个 `postProcessOnSetProperty()` 方法，让它返回原始Bean：

```
public interface BeanPostProcessor {
    // 注入依赖时,应该使用的Bean实例:
    default Object postProcessOnSetProperty(Object bean, String beanName) {
        return bean;
    }
}
```

再继续把 `injectBean()` 改一下，不要直接拿 `BeanDefinition.getInstance()` ，而是拿到原始Bean：

```
void injectBean(BeanDefinition def) {
    // 获取Bean实例，或被代理的原始实例:
    Object beanInstance = getProxiedInstance(def);
    try {
        injectProperties(def, def.getBeanClass(), beanInstance);
    } catch (ReflectiveOperationException e) {
        throw new BeanCreationException(e);
    }
}
```

`getProxiedInstance()` 就是为了获取原始Bean：

```
Object getProxiedInstance(BeanDefinition def) {
    Object beanInstance = def.getInstance();
    // 如果Proxy改变了原始Bean，又希望注入到原始Bean，则由BeanPostProcessor指定
原始Bean:
    List<BeanPostProcessor> reversedBeanPostProcessors = new ArrayList<>
(this.beanPostProcessors);
    Collections.reverse(reversedBeanPostProcessors);
    for (BeanPostProcessor beanPostProcessor : reversedBeanPostProcessors)
{
        Object restoredInstance =
beanPostProcessor.postProcessOnSetProperty(beanInstance, def.getName());
        if (restoredInstance != beanInstance) {
            beanInstance = restoredInstance;
        }
    }
    return beanInstance;
}
```

这里我们还能处理多次代理的情况，即一个原始Bean，比如 `UserService` ，被一个事务处理的 `BeanPostProcsssor` 代理为 `UserServiceTx` ，又被一个性能监控的 `BeanPostProcessor` 代理为 `UserServiceMetric` ，还原的时候，对 `BeanPostProcsssor` 做一个倒序，先还原为 `UserServiceTx` ，再还原为 `UserService` 。

测试

我们可以写一个测试来验证Bean的注入是否正确。先定义原始Bean：

```
@Component
public class OriginBean {
    @Value("${app.title}")
    public String name;

    @Value("${app.version}")
    public String version;

    public String getName() {
        return name;
    }
}
```

通过 `FirstProxyBeanPostProcessor` 代理为 `FirstProxyBean` ：

```
@Order(100)
@Component
public class FirstProxyBeanPostProcessor implements BeanPostProcessor {
    // 保存原始Bean:
    Map<String, Object> originBeans = new HashMap<>();

    @Override
    public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean, String
beanName) {
        if (OriginBean.class.isAssignableFrom(bean.getClass())) {
            // 检测到OriginBean,创建FirstProxyBean:
            var proxy = new FirstProxyBean((OriginBean) bean);
            // 保存原始Bean:
            originBeans.put(beanName, bean);
            // 返回Proxy:
            return proxy;
        }
        return bean;
    }

    @Override
    public Object postProcessOnSetProperty(Object bean, String beanName) {
        Object origin = originBeans.get(beanName);
        if (origin != null) {
            // 存在原始Bean时,返回原始Bean:
```

```
            return origin;
        }
        return bean;
    }
}

// 代理Bean:
class FirstProxyBean extends OriginBean {
    final OriginBean target;

    public FirstProxyBean(OriginBean target) {
        this.target = target;
    }
}
```

通过 `SecondProxyBeanPostProcessor` 代理为 `SecondProxyBean` ：

```
@Order(200)
@Component
public class SecondProxyBeanPostProcessor implements BeanPostProcessor {
    // 保存原始Bean:
    Map<String, Object> originBeans = new HashMap<>();

    @Override
    public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean, String
beanName) {
        if (OriginBean.class.isAssignableFrom(bean.getClass())) {
            // 检测到OriginBean,创建SecondProxyBean:
            var proxy = new SecondProxyBean((OriginBean) bean);
            // 保存原始Bean:
            originBeans.put(beanName, bean);
            // 返回Proxy:
            return proxy;
        }
        return bean;
    }

    @Override
    public Object postProcessOnSetProperty(Object bean, String beanName) {
        Object origin = originBeans.get(beanName);
        if (origin != null) {
```

```
            // 存在原始Bean时,返回原始Bean:
            return origin;
        }
        return bean;
    }
}

// 代理Bean:
class SecondProxyBean extends OriginBean {
    final OriginBean target;

    public SecondProxyBean(OriginBean target) {
        this.target = target;
    }
}
```

定义一个Bean，用于检测是否注入了Proxy：

```
@Component
public class InjectProxyOnConstructorBean {
    public final OriginBean injected;

    public InjectProxyOnConstructorBean(@Autowired OriginBean injected) {
        this.injected = injected;
    }
}
```

测试代码如下：

```
var ctx = new AnnotationConfigApplicationContext(ScanApplication.class,
createPropertyResolver());

// 获取OriginBean的实例,此处获取的应该是SendProxyBeanProxy:
OriginBean proxy = ctx.getBean(OriginBean.class);
assertSame(SecondProxyBean.class, proxy.getClass());

// proxy的name和version字段并没有被注入:
assertNull(proxy.name);
assertNull(proxy.version);
```

```
// 但是调用proxy的getName()会最终调用原始Bean的getName(),从而返回正确的值:
assertEquals("Scan App", proxy.getName());

// 获取InjectProxyOnConstructorBean实例:
var inject = ctx.getBean(InjectProxyOnConstructorBean.class);
// 注入的OriginBean应该为Proxy，而且和前面返回的proxy是同一实例:
assertSame(proxy, inject.injected);
```

从上面的测试代码我们也能看出，对于使用Proxy模式的Bean来说，正常的方法调用对用户是透明的，但是，直接访问Bean注入的字段，如果获取的是Proxy，则字段全部为 `null` ，因为注入并没有发生在Proxy，而是原始Bean。这也是为什么当我们需要访问某个注入的Bean时，总是调用方法而不是直接访问字段：

```
@Component
public class MailService {
    @Autowired
    UserService userService;

    public String sendMail() {
        // 错误:不要直接访问UserService的字段,因为如果UserService被代理,则返回null:
        ZoneId zoneId = userService.zoneId;
        // 正确:通过方法访问UserService的字段,无论是否被代理,返回值均是正确的:
        ZoneId zoneId = userService.getZoneId();
        ...
    }
}
```

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

完成IoC容器

原文链接

现在，我们已经完成了IoC容器的基本功能。最后的收尾工作主要是提取接口。先定义给用户使用的 `ApplicationContext` 接口：

```
public interface ApplicationContext extends AutoCloseable {

    // 是否存在指定name的Bean?
    boolean containsBean(String name);

    // 根据name返回唯一Bean，未找到抛出NoSuchBeanDefinitionException
    <T> T getBean(String name);

    // 根据name返回唯一Bean，未找到抛出NoSuchBeanDefinitionException
    <T> T getBean(String name, Class<T> requiredType);

    // 根据type返回唯一Bean，未找到抛出NoSuchBeanDefinitionException
    <T> T getBean(Class<T> requiredType);

    // 根据type返回一组Bean，未找到返回空List
    <T> List<T> getBeans(Class<T> requiredType);

    // 关闭并执行所有bean的destroy方法
    void close();
}
```

再定义一个给Framework级别的代码用的 `ConfigurableApplicationContext` 接口：

```
public interface ConfigurableApplicationContext extends ApplicationContext
{

    List<BeanDefinition> findBeanDefinitions(Class<?> type);

    @Nullable
    BeanDefinition findBeanDefinition(Class<?> type);

    @Nullable
    BeanDefinition findBeanDefinition(String name);
```

```
    @Nullable
    BeanDefinition findBeanDefinition(String name, Class<?> requiredType);

    Object createBeanAsEarlySingleton(BeanDefinition def);
}
```

让 `AnnotationConfigApplicationContext` 实现接口：

```
public class AnnotationConfigApplicationContext implements
ConfigurableApplicationContext {
    ...
}
```

顺便在 `close()` 方法中把Bean的 `destroy` 方法执行了。

最后加一个 `ApplicationUtils` 类，目的是能通过 `getRequiredApplicationContext()` 方法随时获取到 `ApplicationContext` 实例。

搞定 `summer-context` 模块！

有的同学可能会问，为什么我们用了不到1000行核心代码，就实现了 `ApplicationContext` ？如果查看Spring的源码，可以看到，光是层次结构，就令人眼花缭乱：

```
BeanFactory
  HierarchicalBeanFactory
    ConfigurableBeanFactory
      AbstractBeanFactory
        AbstractAutowireCapableBeanFactory
          DefaultListableBeanFactory
    ApplicationContext
      ConfigurableApplicationContext
        AbstractApplicationContext
          AbstractRefreshableApplicationContext
            AbstractXmlApplicationContext
              ClassPathXmlApplicationContext
              FileSystemXmlApplicationContext
          GenericApplicationContext
            AnnotationConfigApplicationContext
```

```
        GenericXmlApplicationContext
        StaticApplicationContext
```

其实根本原因是我们大幅简化了需求。Spring最早提供了 `BeanFactory` 和 `ApplicationContext` 两种容器，前者是懒加载，后者是立刻初始化所有Bean。懒加载的特性会导致依赖注入变得更加复杂，虽然 `BeanFactory` 在实际项目中并没有什么卵用。然而一旦发布了接口，处于兼容性考虑，就没法再收回去了。再考虑到Spring最早采用XML配置，后来采用Annotation配置，还允许混合配置，这样一来，早期发布的 `XmlApplicationContext` 不能动，新的Annotation配置就必须添加新的实现类，所以，代码的复杂度随着需求增加而增加，保持兼容性又会导致需要更多的代码来实现新功能。

所以，没事不要瞎提需求。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现AOP

原文链接

实现了IoC容器后，我们继续实现AOP功能。

AOP即Aspect Oriented Programming，面向切面编程，它本质上就是一个Proxy模式，只不过可以让IoC容器在运行时再组合起来，而不是事先自己用Proxy模式写死了。而实现Proxy模式的核心是拦截目标Bean的方法调用。

既然原理是方法拦截，那么AOP的实现方式不外乎以下几种：

1. 编译期：在编译时，由编译器把切面调用编译进字节码，这种方式需要定义新的关键字并扩展编译器，AspectJ就扩展了Java编译器，使用关键字aspect来实现织入；
2. 类加载器：在目标类被装载到JVM时，通过一个特殊的类加载器，对目标类的字节码重新“增强”；
3. 运行期：目标对象和切面都是普通Java类，通过JVM的动态代理功能或者第三方库实现运行期动态织入。

从复杂度看，最简单的是方案3，因为不涉及到任何JVM底层。

方案3又有两种实现方式：

1. 使用Java标准库的动态代理机制，不过仅支持对接口代理，无法对具体类实现代理；
2. 使用CGLIB或Javassist这些第三方库，通过动态生成字节码，可以对具体类实现代理。

那么Spring的实现方式是啥？Spring实际上内置了多种代理机制，如果一个Bean声明的类型是接口，那么Spring直接使用Java标准库实现对接口的代理，如果一个Bean声明的类型是Class，那么Spring就使用CGLIB动态生成字节码实现代理。

除了实现代理外，还得有一套机制让用户能定义代理。Spring又提供了多种方式：

1. 用AspectJ的语法来定义AOP，比如 `execution(public * com.itranswarp.service.*.*(..))` ；
2. 用注解来定义AOP，比如用 `@Transactional` 表示开启事务。

用表达式匹配，很容易漏掉或者打击面太大。用注解无疑是最简单的，因为这样被装配的Bean自己能清清楚楚地知道自己被安排了。因此，在Summer Framework中，我们只支持Annotation模式的AOP机制，并且采用动态生成字节码的方式实现。

明确了需求，我们来看如何实现动态生成字节码。Spring采用的是CGLIB，因此我们去CGLIB首页看一下，不看不知道，一看吓一跳：

> *cglib is unmaintained ... migrating to something like ByteBuddy.*

原来CGLIB已经不维护了，建议使用ByteBuddy。既然如此，我们就选择ByteBuddy实现AOP吧。

比较一下Spring Framework和Summer Framework对AOP的支持：

	Spring Framework	**Summer Framework**
AspectJ方式	支持	不支持
Annotation方式	支持	支持
代理接口	支持	不支持
代理类	支持	支持
实现机制	CGLIB	ByteBuddy

下面我们就来准备实现AOP。

评论

实现ProxyResolver

原文链接

为了实现AOP，我们先思考如何在IoC容器中实现一个动态代理。

在IoC容器中，实现动态代理需要用户提供两个Bean：

1. 原始Bean，即需要被代理的Bean；
2. 拦截器，即拦截了目标Bean的方法后，会自动调用拦截器实现代理功能。

拦截器需要定义接口，这里我们直接用Java标准库的 `InvocationHandler` ，免去了自定义接口。

假定我们已经从IoC容器中获取了原始Bean与实现了 `InvocationHandler` 的拦截器Bean，那么就可以编写一个 `ProxyResolver` 来实现AOP代理。

从ByteBuddy的官网上搜索很容易找到相关代码，我们整理为 `createProxy()` 方法：

```
public class ProxyResolver {
    // ByteBuddy实例:
    ByteBuddy byteBuddy = new ByteBuddy();

    // 传入原始Bean、拦截器，返回代理后的实例:
    public <T> T createProxy(T bean, InvocationHandler handler) {
        // 目标Bean的Class类型:
        Class<?> targetClass = bean.getClass();
        // 动态创建Proxy的Class:
        Class<?> proxyClass = this.byteBuddy
                // 子类用默认无参数构造方法:
                .subclass(targetClass,
ConstructorStrategy.Default.DEFAULT_CONSTRUCTOR)
                // 拦截所有public方法:

.method(ElementMatchers.isPublic()).intercept(InvocationHandlerAdapter.of(
                        // 新的拦截器实例:
                        new InvocationHandler() {
                            public Object invoke(Object proxy, Method
method, Object[] args) throws Throwable {
                                // 将方法调用代理至原始Bean:
```

```
                                return handler.invoke(bean, method, args);
                            }
                        }))
                // 生成字节码:
                .make()
                // 加载字节码:
                .load(targetClass.getClassLoader()).getLoaded();
        // 创建Proxy实例:
        Object proxy;
        try {
            proxy = proxyClass.getConstructor().newInstance();
        } catch (RuntimeException e) {
            throw e;
        } catch (Exception e) {
            throw new RuntimeException(e);
        }
        return (T) proxy;
    }
}
```

注意 `InvocationHandler` 有两层：外层的 `invoke()` 传入的Object是Proxy实例，内层的 `invoke()` 将调用转发至原始Bean。

一共大约50行代码，我们就实现了AOP功能。有点不敢相信，赶快写个测试看看效果。

先定义一个 `OriginBean` ：

```
public class OriginBean {
    public String name;

    @Polite
    public String hello() {
        return "Hello, " + name + ".";
    }

    public String morning() {
        return "Morning, " + name + ".";
    }
}
```

我们要实现的AOP功能是增强带 `@Polite` 注解的方法，把返回值 `Hello, Bob.` 改为 `Hello, Bob!` ，让欢迎气氛更强烈一点，因此，编写一个 `InvocationHandler` ：

```
public class PoliteInvocationHandler implements InvocationHandler {
    @Override
    public Object invoke(Object bean, Method method, Object[] args) throws
Throwable {
        // 修改标记了@Polite的方法返回值:
        if (method.getAnnotation(Polite.class) != null) {
            String ret = (String) method.invoke(bean, args);
            if (ret.endsWith(".")) {
                ret = ret.substring(0, ret.length() - 1) + "!";
            }
            return ret;
        }
        return method.invoke(bean, args);
    }
}
```

测试代码：

```
// 原始Bean:
OriginBean origin = new OriginBean();
origin.name = "Bob";
// 调用原始Bean的hello():
assertEquals("Hello, Bob.", origin.hello());

// 创建Proxy:
OriginBean proxy = new ProxyResolver().createProxy(origin, new
PoliteInvocationHandler());

// Proxy类名,类似OriginBean$ByteBuddy$9hQwRy3T:
System.out.println(proxy.getClass().getName());

// Proxy类与OriginBean.class不同:
assertNotSame(OriginBean.class, proxy.getClass());
// proxy实例的name字段应为null:
assertNull(proxy.name);

// 调用带@Polite的方法:
```

```
assertEquals("Hello, Bob!", proxy.hello());
// 调用不带@Polite的方法:
assertEquals("Morning, Bob.", proxy.morning());
```

测试通过，本节到此收工。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现Around

原文链接

现在我们已经实现了ProxyResolver，下一步，实现完整的AOP就很容易了。

我们先从客户端代码入手，看看应当怎么装配AOP。

首先，客户端需要定义一个原始Bean，例如 `OriginBean` ，用 `@Around` 注解标注：

```
@Component
@Around("aroundInvocationHandler")
public class OriginBean {

    @Value("${customer.name}")
    public String name;

    @Polite
    public String hello() {
        return "Hello, " + name + ".";
    }

    public String morning() {
        return "Morning, " + name + ".";
    }
}
```

`@Around` 注解的值 `aroundInvocationHandler` 指出应该按什么名字查找拦截器，因此，客户端应再定义一个 `AroundInvocationHandler` ：

```
@Component
public class AroundInvocationHandler implements InvocationHandler {
    @Override
    public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws
Throwable {
        // 拦截标记了@Polite的方法返回值:
        if (method.getAnnotation(Polite.class) != null) {
            String ret = (String) method.invoke(proxy, args);
            if (ret.endsWith(".")) {
                ret = ret.substring(0, ret.length() - 1) + "!";
```

```
            }
            return ret;
        }
        return method.invoke(proxy, args);
    }
}
```

有了原始Bean、拦截器，就可以在IoC容器中装配AOP：

```
@Configuration
@ComponentScan
public class AroundApplication {
    @Bean
    AroundProxyBeanPostProcessor createAroundProxyBeanPostProcessor() {
        return new AroundProxyBeanPostProcessor();
    }
}
```

注意到装配AOP是通过 `AroundProxyBeanPostProcessor` 实现的，而这个类是由Framework提供，客户端并不需要自己实现。因此，我们需要开发一个 `AroundProxyBeanPostProcessor` ：

```
public class AroundProxyBeanPostProcessor implements BeanPostProcessor {

    Map<String, Object> originBeans = new HashMap<>();

    public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean, String
beanName) throws BeansException {
        Class<?> beanClass = bean.getClass();
        // 检测@Around注解:
        Around anno = beanClass.getAnnotation(Around.class);
        if (anno != null) {
            String handlerName;
            try {
                handlerName = (String)
anno.annotationType().getMethod("value").invoke(anno);
            } catch (ReflectiveOperationException e) {
                throw new AopConfigException();
            }
            Object proxy = createProxy(beanClass, bean, handlerName);
            originBeans.put(beanName, bean);
```

```
            return proxy;
        } else {
            return bean;
        }
    }

    Object createProxy(Class<?> beanClass, Object bean, String handlerName)
{
        ConfigurableApplicationContext ctx =
(ConfigurableApplicationContext)
ApplicationContextUtils.getRequiredApplicationContext();
        BeanDefinition def = ctx.findBeanDefinition(handlerName);
        if (def == null) {
            throw new AopConfigException();
        }
        Object handlerBean = def.getInstance();
        if (handlerBean == null) {
            handlerBean = ctx.createBeanAsEarlySingleton(def);
        }
        if (handlerBean instanceof InvocationHandler handler) {
            return ProxyResolver.getInstance().createProxy(bean, handler);
        } else {
            throw new AopConfigException();
        }
    }

    @Override
    public Object postProcessOnSetProperty(Object bean, String beanName) {
        Object origin = this.originBeans.get(beanName);
        return origin != null ? origin : bean;
    }
}
```

上述 `AroundProxyBeanPostProcessor` 的机制非常简单：检测每个Bean实例是否带有 `@Around` 注解，如果有，就根据注解的值查找Bean作为 `InvocationHandler` ，最后创建Proxy，返回前保存了原始Bean的引用，因为IoC容器在后续的注入阶段要把相关依赖和值注入到原始Bean。

总结一下，Summer Framework提供的包括：

- `Around` 注解；

- `AroundProxyBeanPostProcessor` 实现AOP。

客户端代码需要提供的包括：

- 带 `@Around` 注解的原始Bean；
- 实现 `InvocationHandler` 的Bean，名字与 `@Around` 注解value保持一致。

没有额外的要求了。

实现Before和After

我们再继续思考，Spring提供的AOP拦截器，有Around、Before和After等好几种。如何实现Before和After拦截？

实际上Around拦截本身就包含了Before和After拦截，我们没必要去修改 `ProxyResolver` ，只需要用Adapter模式提供两个拦截器模版，一个是 `BeforeInvocationHandlerAdapter` ：

```
public abstract class BeforeInvocationHandlerAdapter implements
InvocationHandler {

    public abstract void before(Object proxy, Method method, Object[]
args);

    @Override
    public final Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args)
throws Throwable {
        before(proxy, method, args);
        return method.invoke(proxy, args);
    }
}
```

客户端提供的 `InvocationHandler` 只需继承自 `BeforeInvocationHandlerAdapter` ，自然就需要覆写 `before()` 方法，实现了Before拦截。

After拦截也是一个拦截器模版：

```
public abstract class AfterInvocationHandlerAdapter implements
InvocationHandler {
    // after允许修改方法返回值:
    public abstract Object after(Object proxy, Object returnValue, Method
```

```
method, Object[] args);

    @Override
    public final Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args)
throws Throwable {
        Object ret = method.invoke(proxy, args);
        return after(proxy, ret, method, args);
    }
}
```

扩展Annotation

截止目前，客户端只需要定义带有 `@Around` 注解的Bean，就能自动触发AOP。我们思考下Spring的事务机制，其实也是AOP拦截，不过它的注解是 `@Transactional` 。如果要扩展Annotation，即能自定义注解来启动AOP，怎么做?

假设我们后续编写了一个事务模块，提供注解 `@Transactional` ，那么，要启动AOP，就必须仿照 `AroundProxyBeanPostProcessor` ，提供一个 `TransactionProxyBeanPostProcessor` ，不过复制代码太麻烦了，我们可以改造一下 `AroundProxyBeanPostProcessor` ，用泛型代码处理Annotation，先抽象出一个 `AnnotationProxyBeanPostProcessor` ：

```
public abstract class AnnotationProxyBeanPostProcessor<A extends
Annotation> implements BeanPostProcessor {

    Map<String, Object> originBeans = new HashMap<>();
    Class<A> annotationClass;

    public AnnotationProxyBeanPostProcessor() {
        this.annotationClass = getParameterizedType();
    }
    ...
}
```

实现 `AroundProxyBeanPostProcessor` 就一行定义：

```
public class AroundProxyBeanPostProcessor extends
AnnotationProxyBeanPostProcessor<Around> {
}
```

后续如果我们想实现 `@Transactional` 注解，只需定义：

```
public class TransactionalProxyBeanPostProcessor extends
AnnotationProxyBeanPostProcessor<Transactional> {
}
```

就能自动根据 `@Transactional` 启动AOP。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现JDBC和事务

原文链接

我们已经实现了IoC容器和AOP功能，在此基础上增加JDBC和事务的支持就比较容易了。

Spring对JDBC数据库的支持主要包括：

1. 提供了一个 `JdbcTemplate` 和 `NamedParameterJdbcTemplate` 模板类，可以方便地操作JDBC；
2. 支持流行的ORM框架，如Hibernate、JPA等；
3. 支持声明式事务，只需要通过简单的注解配置即可实现事务管理。

在Summer Framework中，我们准备提供一个 `JdbcTemplate` 模板，以及声明式事务的支持。对于ORM，反正手动集成也比较容易，就不管了。

	Spring Framework	Summer Framework
JdbcTemplate	支持	支持
NamedParameterJdbcTemplate	支持	不支持
转换SQL错误码	支持	不支持
ORM	支持	不支持
手动管理事务	支持	不支持
声明式事务	支持	支持

下面开始正式开发Summer Framework的 `JdbcTemplate` 与声明式事务。

评论

实现JdbcTemplate

原文链接

本节我们来实现JdbcTemplate。在Spring中，通过JdbcTemplate，基本封装了所有JDBC操作，可以覆盖绝大多数数据库操作的场景。

配置DataSource

使用JdbcTemplate之前，我们需要配置JDBC数据源。Spring本身只提供了基础的`DriverManagerDataSource`，但Spring Boot有一个默认配置的数据源，并采用HikariCP作为连接池。这里我们仿照Spring Boot的方式，先定义默认的数据源配置项：

```
summer:
  datasource:
    url: jdbc:sqlite:test.db
    driver-class-name: org.sqlite.JDBC
    username: sa
    password:
```

再实现一个HikariCP支持的`DataSource`：

```
@Configuration
public class JdbcConfiguration {

    @Bean(destroyMethod = "close")
    DataSource dataSource(
            // properties:
            @Value("${summer.datasource.url}") String url,
            @Value("${summer.datasource.username}") String username,
            @Value("${summer.datasource.password}") String password,
            @Value("${summer.datasource.driver-class-name:}") String
driver,
            @Value("${summer.datasource.maximum-pool-size:20}") int
maximumPoolSize,
            @Value("${summer.datasource.minimum-pool-size:1}") int
minimumPoolSize,
            @Value("${summer.datasource.connection-timeout:30000}") int
connTimeout
```

```
    ) {
        var config = new HikariConfig();
        config.setAutoCommit(false);
        config.setJdbcUrl(url);
        config.setUsername(username);
        config.setPassword(password);
        if (driver != null) {
            config.setDriverClassName(driver);
        }
        config.setMaximumPoolSize(maximumPoolSize);
        config.setMinimumIdle(minimumPoolSize);
        config.setConnectionTimeout(connTimeout);
        return new HikariDataSource(config);
    }
}
```

这样，客户端引入 `JdbcConfiguration` 就自动获得了数据源：

```
@Import(JdbcConfiguration.class)
@ComponentScan
@Configuration
public class AppConfig {
}
```

定义JdbcTemplate

下一步是定义 `JdbcTemplate` ，唯一依赖是注入 `DataSource` ：

```
public class JdbcTemplate {
    final DataSource dataSource;

    public JdbcTemplate(DataSource dataSource) {
        this.dataSource = dataSource;
    }
}
```

JdbcTemplate基于Template模式，提供了大量以回调作为参数的模板方法，其中以 `execute(ConnectionCallback)` 为基础：

```
public <T> T execute(ConnectionCallback<T> action) {
    try (Connection newConn = dataSource.getConnection()) {
        T result = action.doInConnection(newConn);
        return result;
    } catch (SQLException e) {
        throw new DataAccessException(e);
    }
}
```

即由 `JdbcTemplate` 处理获取连接、释放连接、捕获SQLException，上层代码专注于使用 `Connection` ：

```
@FunctionalInterface
public interface ConnectionCallback<T> {
    @Nullable
    T doInConnection(Connection con) throws SQLException;
}
```

其他方法其实也是基于 `execute(ConnectionCallback)` ，例如：

```
public <T> T execute(PreparedStatementCreator psc,
PreparedStatementCallback<T> action) {
    return execute((Connection con) -> {
        try (PreparedStatement ps = psc.createPreparedStatement(con)) {
            return action.doInPreparedStatement(ps);
        }
    });
}
```

上述代码实现了 `ConnectionCallback` ，内部又调用了传入的 `PreparedStatementCreator` 和 `PreparedStatementCallback` ，这样，基于更新操作的 `update` 就可以这么写：

```
public int update(String sql, Object... args) {
    return execute(
        preparedStatementCreator(sql, args),
        (PreparedStatement ps) -> {
            return ps.executeUpdate();
        }
```

```
    );
}
```

基于查询操作的 `queryForList()` 就可以这么写：

```
public <T> List<T> queryForList(String sql, RowMapper<T> rowMapper,
Object... args) {
    return execute(preparedStatementCreator(sql, args),
        (PreparedStatement ps) -> {
            List<T> list = new ArrayList<>();
            try (ResultSet rs = ps.executeQuery()) {
                while (rs.next()) {
                    list.add(rowMapper.mapRow(rs, rs.getRow()));
                }
            }
            return list;
        }
    );
}
```

剩下的一系列查询方法都是基于上述方法的封装，包括：

- queryForList(String sql, RowMapper rowMapper, Object... args)
- queryForList(String sql, Class clazz, Object... args)
- queryForNumber(String sql, Object... args)

总之，就是一个工作量的问题，开发难度基本为0。

测试时，可以使用Sqlite这个轻量级数据库，测试用例覆盖到各种SQL操作，最后把 `JdbcTemplate` 加入到 `JdbcConfiguration` 中，就基本完善了。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现声明式事务

原文链接

Spring提供的声明式事务管理能极大地降低应用程序的事务代码。如果使用基于Annotation配置的声明式事务，则一个与数据库操作相关的类只需加上 `@Transactional` 注解，就实现了事务支持，非常方便：

```
@Transactional
@Component
public class UserService {
}
```

Spring的声明式事务支持JDBC本地事务和JTA分布式事务两种，事务传播模型除了最常用的 `REQUIRED` ，还包括Java EE定义的 `SUPPORTS` 、 `REQUIRED_NEW` 、 `NESTED` 等多种模式。Summer Framework出于简化目的，仅支持JDBC本地事务，事务传播模型仅支持最常用的 `REQUIRED` ，这样可以大大简化代码：

	Spring Framework	Summer Framework
JDBC事务	支持	支持
JTA事务	支持	不支持
REQUIRED传播模式	支持	支持
其他传播模式	支持	不支持
设置隔离级别	支持	不支持

下面我们就来编写声明式事务管理。

首先定义 `@Transactional` ，这里就不允许单独在方法处定义，直接在class级别启动所有public方法的事务：

```
@Target(ElementType.TYPE)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
@Documented
@Inherited
public @interface Transactional {
```

```
    String value() default "platformTransactionManager";
}
```

默认值 `platformTransactionManager` 表示用名字为 `platformTransactionManager` 的Bean来管理事务。

下一步是定义接口 `PlatformTransactionManager` ：

```
public interface PlatformTransactionManager {
}
```

其实啥也没有，就是一个标识作用。

接着定义 `TransactionStatus` ，表示当前事务状态：

```
public class TransactionStatus {
    final Connection connection;

    public TransactionStatus(Connection connection) {
        this.connection = connection;
    }
}
```

目前仅封装了一个Connection，将来如果扩展，则可以将事务的传播模式存储在里面。

最后写个 `DataSourceTransactionManager` ，它持有一个ThreadLocal存储的 `TransactionStatus` ，以及一个 `DataSource` ：

```
public class DataSourceTransactionManager implements
        PlatformTransactionManager, InvocationHandler
{
    static final ThreadLocal<TransactionStatus> transactionStatus = new
ThreadLocal<>();
    final DataSource dataSource;

    public DataSourceTransactionManager(DataSource dataSource) {
        this.dataSource = dataSource;
    }
}
```

因为 `DataSourceTransactionManager` 是真正执行开启、提交、回归事务的地方，在哪执行呢？就在 `invoke()` 内部：

```
@Override
public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws
Throwable {
    TransactionStatus ts = transactionStatus.get();
    if (ts == null) {
        // 当前无事务,开启新事务:
        try (Connection connection = dataSource.getConnection()) {
            final boolean autoCommit = connection.getAutoCommit();
            if (autoCommit) {
                connection.setAutoCommit(false);
            }
            try {
                // 设置ThreadLocal状态:
                transactionStatus.set(new TransactionStatus(connection));
                // 调用业务方法:
                Object r = method.invoke(proxy, args);
                // 提交事务:
                connection.commit();
                // 方法返回:
                return r;
            } catch (InvocationTargetException e) {
                // 回滚事务:
                TransactionException te = new
TransactionException(e.getCause());
                try {
                    connection.rollback();
                } catch (SQLException sqle) {
                    te.addSuppressed(sqle);
                }
                throw te;
            } finally {
                // 删除ThreadLocal状态:
                transactionStatus.remove();
                if (autoCommit) {
                    connection.setAutoCommit(true);
                }
            }
```

```
        }
    } else {
        // 当前已有事务,加入当前事务执行:
        return method.invoke(proxy, args);
    }
}
```

这样就实现了声明式事务。

有的同学会问，如果一个方法开启了事务，那么，它内部调用其他方法，是怎么加入当前事务的?

这里我们先需要写一个获取当前事务连接的工具类:

```
public class TransactionalUtils {
    @Nullable
    public static Connection getCurrentConnection() {
        TransactionStatus ts =
DataSourceTransactionManager.transactionStatus.get();
        return ts == null ? null : ts.connection;
    }
}
```

然后改造下 `JdbcTemplate` 获取连接的代码:

```
public class JdbcTemplate {
    public <T> T execute(ConnectionCallback<T> action) throws
DataAccessException {
        // 尝试获取当前事务连接:
        Connection current = TransactionalUtils.getCurrentConnection();
        if (current != null) {
            try {
                return action.doInConnection(current);
            } catch (SQLException e) {
                throw new DataAccessException(e);
            }
        }
        // 无事务,从DataSource获取新连接:
        try (Connection newConn = dataSource.getConnection()) {
            return action.doInConnection(newConn);
        } catch (SQLException e) {
```

```
            throw new DataAccessException(e);
        }
    }
    ...
}
```

这样，使用 `JdbcTemplate` ，如果有事务，自动加入当前事务，否则，按普通SQL执行（数据库隐含事务）。

最后，还需要提供一个 `TransactionalBeanPostProcessor` ，使得AOP机制生效，才能拦截 `@Transactional` 标注的Bean的public方法：

```
public class TransactionalBeanPostProcessor extends
AnnotationProxyBeanPostProcessor<Transactional> {
}
```

把它们都整理一下，放到 `JdbcConfiguration` 中：

```
@Configuration
public class JdbcConfiguration {

    @Bean(destroyMethod = "close")
    DataSource dataSource(
            // properties:
            @Value("${summer.datasource.url}") String url,
            @Value("${summer.datasource.username}") String username,
            @Value("${summer.datasource.password}") String password,
            @Value("${summer.datasource.driver-class-name:}") String
driver,
            @Value("${summer.datasource.maximum-pool-size:20}") int
maximumPoolSize,
            @Value("${summer.datasource.minimum-pool-size:1}") int
minimumPoolSize,
            @Value("${summer.datasource.connection-timeout:30000}") int
connTimeout
    ) {
        ...
        return new HikariDataSource(config);
    }
```

```
    @Bean
    JdbcTemplate jdbcTemplate(@Autowired DataSource dataSource) {
        return new JdbcTemplate(dataSource);
    }

    @Bean
    TransactionalBeanPostProcessor transactionalBeanPostProcessor() {
        return new TransactionalBeanPostProcessor();
    }

    @Bean
    PlatformTransactionManager platformTransactionManager(@Autowired
DataSource dataSource) {
        return new DataSourceTransactionManager(dataSource);
    }
}
```

现在，应用程序只需导入 `JdbcConfiguration` ，从连接池到声明式事务全部齐活：

```
@Import(JdbcConfiguration.class)
@ComponentScan
@Configuration
public class AppConfig {
}
```

最后我们总结下各个组件的作用：

1. 由 `JdbcConfiguration` 创建的 `DataSource` ，实现了连接池；
2. 由 `JdbcConfiguration` 创建的 `JdbcTemplate` ，实现基本SQL操作；
3. 由 `JdbcConfiguration` 创建的 `PlatformTransactionManager` ，负责拦截 `@Transactional` 标识的Bean的public方法，自动管理事务；
4. 由 `JdbcConfiguration` 创建的 `TransactionalBeanPostProcessor` ，负责给 `@Transactional` 标识的Bean创建AOP代理，拦截器正是 `PlatformTransactionManager` 。

应用程序除了导入一个 `JdbcConfiguration` ，加上默认配置项，什么也不用干，就可以开始写自动带声明式事务的代码：

```
@Transactional
@Component
public class UserService {
```

```
    @Autowired
    JdbcTemplate jdbcTemplate;

    public User register(String email, String password) {
        jdbcTemplate.update("INSERT INTO ...", ...);
        return ...
    }
}
```

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现Web MVC

原文链接

现在，我们已经实现了IoC容器、AOP、JdbcTemplate和声明式事务，离一个完整的框架只差一个Web MVC了。

我们先看看Spring的Web MVC主要提供了哪些组件和API支持：

1. 一个 `DispatcherServlet` 作为核心处理组件，接收所有URL请求，然后按MVC规则转发；
2. 基于 `@Controller` 注解的URL控制器，由应用程序提供，Spring负责解析规则；
3. 提供 `ViewResolver` ，将应用程序的Controller处理后的结果进行渲染，给浏览器返回页面；
4. 基于 `@RestController` 注解的REST处理机制，由应用程序提供，Spring负责将输入输出变为JSON格式；
5. 多种拦截器和异常处理器等。

Spring的Web MVC功能十分强大，涉及到的内容也非常广。相比之下，Summer Framework的Web MVC必然要聚焦在核心组件上：

	Spring Framework	Summer Framework
DispatcherServlet	支持	支持
@Controller注解	支持	支持
@RestController注解	支持	支持
ViewResolver	支持	支持
HandlerInterceptor	支持	不支持
Exception Handler	支持	不支持
CORS	支持	不支持
异步处理	支持	不支持
WebSocket	支持	不支持

不过，Spring Framework的Web MVC模块对 `Filter` 支持有限，要想愉快地使用 `Filter` ，最好通过Spring Boot提供的 `FilterRegistrationBean` ，Summer Framework为了便于应用程

序开发自己的 `Filter` ，直接支持 `FilterRegistrationBean` 。

下面开始正式开发Summer Framework的Web MVC模块。

评论

启动IoC容器

原文链接

在开发Web MVC模块之前，我们首先回顾下Java Web应用程序到底有几方参与。

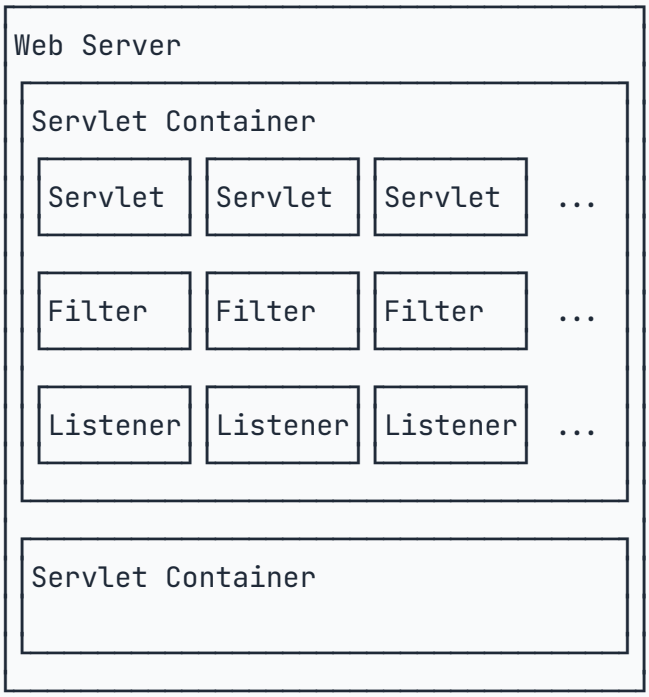
首先，Java Web应用一般遵循Servlet标准，这个标准定义了应用程序可以按接口编写哪些组件：Servlet、Filter和Listener，也规定了一个服务器（如Tomcat、Jetty、JBoss等）应该提供什么样的服务，按什么顺序加载应用程序的组件，最后才能跑起来处理来自用户的HTTP请求。

Servlet规范定义的组件有3类：

1. Servlet：处理HTTP请求，然后输出响应；
2. Filter：对HTTP请求进行过滤，可以有多个Filter形成过滤器链，实现权限检查、限流、缓存等逻辑；
3. Listener：用来监听Web应用程序产生的事件，包括启动、停止、Session有修改等。

这些组件均由应用程序实现。

而服务器为一个应用程序提供一个“容器”，即Servlet Container，一个Server可以同时跑多个Container，不同的Container可以按URL、域名等区分，Container才是用来管理Servlet、Filter、Listener这些组件的：



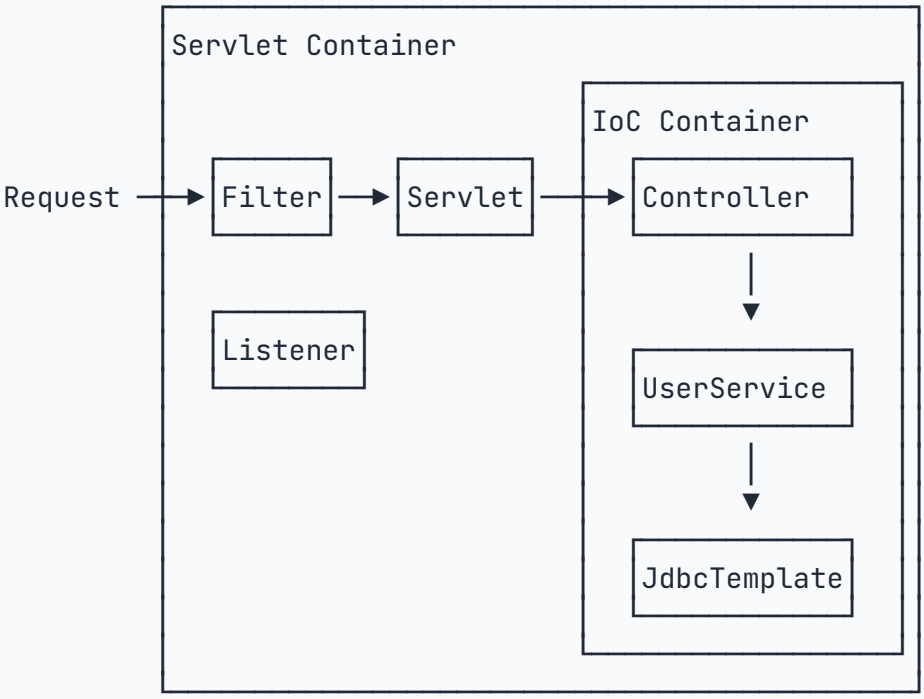
另一个需要特别重要的问题是：组件由谁创建，由谁销毁。

在使用IoC容器时，注意到IoC容器也是一个Java类，IoC容器又管理着很多Bean，因此，创建顺序是：

1. 执行应用程序的入口方法 `main()` ；
2. 在 `main()` 方法中，创建IoC容器的实例；
3. IoC容器在它的内部创建各个Bean的实例。

现在，我们开发的是Web应用程序，它本身就是一堆组件，被Web服务器提供的Servlet“容器”管理，同时，又要加一个IoC容器，到底谁创建谁，谁管理谁，这个问题，必须要搞清楚。

首先，我们不能改变Servlet规范，所以，Servlet、Filter、Listener，以及IoC容器，都必须在Servlet容器内被管理：



所以我们要捋清楚这些组件的创建顺序，以及谁创建谁。

对于一个Web应用程序来说，启动时，应用程序本身只是一个 `war` 包，并没有 `main()` 方法，因此，启动时执行的是Server的 `main()` 方法。以Tomcat服务器为例：

1. 启动服务器，即执行Tomcat的 `main()` 方法；
2. Tomcat根据配置或自动检测到一个 `xyz.war` 包后，为这个 `xyz.war` 应用程序创建Servlet容器；
3. Tomcat继续查找 `xyz.war` 定义的Servlet、Filter和Listener组件，按顺序实例化每个组件（Listener最先被实例化，然后是Filter，最后是Servlet）；

4. 用户发送HTTP请求，Tomcat收到请求后，转发给Servlet容器，容器根据应用程序定义的映射，把请求发送个若干Filter和一个Servlet处理；

5. 处理期间产生的事件则由Servlet容器自动调用Listener。

其中，第3步实例化又有很多方式：

1. 通过在 `web.xml` 配置文件中定义，这也是早期Servlet规范唯一的配置方式；

2. 通过注解 `@WebServlet` 、 `@WebFilter` 和 `@WebListener` 定义，由Servlet容器自动扫描所有class后创建组件，这和我们用Annotation配置Bean，由IoC容器自动扫描创建Bean非常类似；

3. 先配置一个 `Listener` ，由Servlet容器创建 `Listener` ，然后， `Listener` 自己调用相关接口，手动创建 `Servlet` 和 `Filter` 。

到底用哪种方式，取决于Web应用程序自己如何编写。对于使用Spring框架的Web应用程序来说，Servlet、Filter和Listener数量少，而且是固定的，应用程序自身编写的Controller数量不定，但由IoC容器管理，因此，采用方式3最合适。

具体来说，Tomcat启动一个基于Spring开发的Web应用程序时，按如下步骤初始化：

1. 为Web应用程序准备Servlet容器；

2. 根据配置实例化一个Spring提供的 `Listener` ；

    1. Spring提供的 `Listener` 在初始化时启动IoC容器；

    2. Spring提供的 `Listener` 在初始化时向Servlet容器注册Spring内置的一个 `DispatcherServlet` 。

当Tomcat把HTTP请求发送给Spring注册的 `Servlet` 后，因为它持有IoC容器的引用，就可以找到 `Controller` 实例，因此，可以把请求继续转发给对应的Controller，这样就完成了HTTP请求的处理。

另外注意到Web应用程序除了提供 `Controller` 外，并不必须与Servlet API打交道，因为被Spring提供的 `DispatcherServlet` 给隔离了。

所以，我们在开发Summer Framework的Web MVC模块时，应该以如下方式初始化：

1. 应用程序必须配置一个Summer Framework提供的Listener；

2. Tomcat完成Servlet容器的创建后，立刻根据配置创建Listener；

    1. Listener初始化时创建IoC容器；

    2. Listener继续创建DispatcherServlet实例，并向Servlet容器注册；

3. DispatcherServlet初始化时获取到IoC容器中的Controller实例，因此可以根据URL调用不同Controller实例的不同处理方法。

我们先写一个只能输出Hello World的Servlet：

```
public class DispatcherServlet extends HttpServlet {
    @Override
    protected void doGet(HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp)
throws ServletException, IOException {
        PrintWriter pw = resp.getWriter();
        pw.write("<h1>Hello, world!</h1>");
        pw.flush();
    }
}
```

紧接着，编写一个 `ContextLoaderListener` ，它实现了 `ServletContextListener` 接口，能监听Servlet容器的启动和销毁，在监听到初始化事件时，完成创建IoC容器和注册 `DispatcherServlet` 两个工作：

```
public class ContextLoaderListener implements ServletContextListener {
    // Servlet容器启动时自动调用:
    @Override
    public void contextInitialized(ServletContextEvent sce) {
        // 创建IoC容器:
        var applicationContext = createApplicationContext(...);
        // 实例化DispatcherServlet:
        var dispatcherServlet = new DispatcherServlet();
        // 注册DispatcherServlet:
        var dispatcherReg = servletContext.addServlet("dispatcherServlet",
dispatcherServlet);
        dispatcherReg.addMapping("/");
        dispatcherReg.setLoadOnStartup(0);
    }
}
```

这样，我们就完成了Web应用程序的初始化全部流程！

最后两个小问题：

1. 创建IoC容器时，需要的配置文件从哪读？这里我们采用Spring Boot的方式，默认从classpath的 `application.yml` 或 `application.properties` 读。

2. 需要的 `@Configuration` 配置类从哪获取？这是通过 `web.xml` 文件配置的：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<web-app ...>
    <context-param>
        <!-- 固定名称 -->
        <param-name>configuration</param-name>
        <!-- 配置类的完整类名 -->
        <param-value>com.itranswarp.summer.webapp.WebAppConfig</param-
value>
    </context-param>

    <listener>
        <listener-
class>com.itranswarp.summer.web.ContextLoaderListener</listener-class>
    </listener>
</web-app>
```

在 `ContextLoaderListener` 的 `contextInitialized()` 方法内，先获取 `ServletContext` 引用，再通过 `getInitParameter("configuration")` 拿到完整类名，就可以顺利创建IoC容器了。

用Maven打包后，把生成的 `xyz.war` 改为 `ROOT.war` ，复制到Tomcat的 `webapps` 目录下，清除掉其他webapp，启动Tomcat，输入 `http://localhost:8080` 可看到输出 `Hello, world!` 。

这样我们就跑通了一个Web应用程序启动的全部流程。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现MVC

原文链接

上一节我们把Web应用程序的流程跑通了，因此，本节重点就在如何继续开发 `DispatcherServlet` ，因为整个MVC的处理都是在 `DispatcherServlet` 内部完成的。

要处理MVC，我们先定义 `@Controller` 和 `@RestController` ：

```
@Target(ElementType.TYPE)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
@Documented
@Component
public @interface Controller {
    String value() default "";
}

@Target(ElementType.TYPE)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
@Documented
@Component
public @interface RestController {
    String value() default "";
}
```

以及 `@GetMapping` 、 `@PostMapping` 等注解，来标识MVC处理的方法。

`DispatcherServlet` 内部负责从IoC容器找出所有 `@Controller` 和 `@RestController` 定义的Bean，扫描它们的方法，找出 `@GetMapping` 和 `@PostMapping` 标识的方法，这样就有了一个处理特定URL的处理器，我们抽象为 `Dispatcher` ：

```
class Dispatcher {
    // 是否返回REST:
    boolean isRest;
    // 是否有@ResponseBody:
    boolean isResponseBody;
    // 是否返回void:
    boolean isVoid;
    // URL正则匹配:
    Pattern urlPattern;
```

```
    // Bean实例:
    Object controller;
    // 处理方法:
    Method handlerMethod;
    // 方法参数:
    Param[] methodParameters;
}
```

方法参数也需要根据 `@RequestParam` 、 `@RequestBody` 等抽象出 `Param` 类型：

```
class Param {
    // 参数名称:
    String name;
    // 参数类型:
    ParamType paramType;
    // 参数Class类型:
    Class<?> classType;
    // 参数默认值
    String defaultValue;
}
```

一共有4种类型的参数，我们用枚举 `ParamType` 定义：

- `PATH_VARIABLE` ：路径参数，从URL中提取；
- `REQUEST_PARAM` ：URL参数，从URL Query或Form表单提取；
- `REQUEST_BODY` ：REST请求参数，从Post传递的JSON提取；
- `SERVLET_VARIABLE` ： `HttpServletRequest` 等Servlet API提供的参数，直接从 `DispatcherServlet` 的方法参数获得。

这样， `DispatcherServlet` 通过反射拿到一组 `Dispatcher` 对象，在 `doGet()` 和 `doPost()` 方法中，依次匹配URL：

```
public class DispatcherServlet extends HttpServlet {

    List<Dispatcher> getDispatchers = new ArrayList<>();
    List<Dispatcher> postDispatchers = new ArrayList<>();

    @Override
    protected void doGet(HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp)
throws ServletException, IOException {
```

```
        String url = req.getRequestURI();
        // 依次匹配每个Dispatcher的URL:
        for (Dispatcher dispatcher : getDispatchers) {
            Result result = dispatcher.process(url, req, resp);
            // 匹配成功并处理后:
            if (result.processed()) {
                // 处理结果
                ...
                return;
            }
        }
        // 未匹配到任何Dispatcher:
        resp.sendError(404, "Not Found");
    }

    @Override
    protected void doPost(HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp)
throws ServletException, IOException {
        ...
    }
}
```

这里不能用 `Map<String, Dispatcher>` 的原因在于我们要处理类似 `/hello/{name}` 这样的URL，没法使用精确查找，只能使用正则匹配。

`Dispatcher` 处理后返回类型包括：

- `void` 或 `null` ：表示内部已处理完毕；
- `String` ：如果以 `redirect:` 开头，则表示一个重定向；
- `String` 或 `byte[]` ：如果配合 `@ResponseBody` ，则表示返回值直接写入响应；
- `ModelAndView` ：表示这是一个MVC响应，包含Model和View名称，后续用模板引擎处理后写入响应；
- 其它类型：如果是 `@RestController` ，则序列化为JSON后写入响应。

不符合上述要求的返回类型则报500错误。

这些处理逻辑都十分简单，我们重点看看如何处理 `ModelAndView` 类型，即MVC响应。

为了处理 `ModelAndView` ，我们需要一个模板引擎，因此，抽象出 `ViewResolver` 接口：

```
public interface ViewResolver {
    // 初始化ViewResolver:
    void init();

    // 渲染:
    void render(String viewName, Map<String, Object> model,
HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp);
}
```

Spring内置FreeMarker引擎，因此我们也把FreeMarker集成进来，写一个`FreeMarkerViewResolver`：

```
public class FreeMarkerViewResolver implements ViewResolver {

    final String templatePath;
    final String templateEncoding;
    final ServletContext servletContext;

    Configuration config;

    public FreeMarkerViewResolver(ServletContext servletContext, String
templatePath, String templateEncoding) {
        this.servletContext = servletContext;
        this.templatePath = templatePath;
        this.templateEncoding = templateEncoding;
    }

    @Override
    public void init() {
        Configuration cfg = new
Configuration(Configuration.VERSION_2_3_32);
        cfg.setOutputFormat(HTMLOutputFormat.INSTANCE);
        cfg.setDefaultEncoding(this.templateEncoding);
        cfg.setTemplateLoader(new
ServletTemplateLoader(this.servletContext, this.templatePath));

cfg.setTemplateExceptionHandler(TemplateExceptionHandler.HTML_DEBUG_HANDLER
);

cfg.setAutoEscapingPolicy(Configuration.ENABLE_IF_SUPPORTED_AUTO_ESCAPING_P
```

```
OLICY);
        cfg.setLocalizedLookup(false);
        var ow = new DefaultObjectWrapper(Configuration.VERSION_2_3_32);
        ow.setExposeFields(true);
        cfg.setObjectWrapper(ow);
        this.config = cfg;
    }

    @Override
    public void render(String viewName, Map<String, Object> model,
HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp) throws ServletException,
IOException {
        Template templ = null;
        try {
            templ = this.config.getTemplate(viewName);
        } catch (Exception e) {
            throw new ServerErrorException("View not found: " + viewName);
        }
        PrintWriter pw = resp.getWriter();
        try {
            templ.process(model, pw);
        } catch (TemplateException e) {
            throw new ServerErrorException(e);
        }
        pw.flush();
    }
}
```

这样我们就可以在 `DispatcherServlet` 内部，把处理ModelAndView和ViewResolver结合起来，最终向 `HttpServletResponse` 中输出HTML，完成HTTP请求的处理。

为了简化Web应用程序配置，我们提供一个 `WebMvcConfiguration` 配置：

```
@Configuration
public class WebMvcConfiguration {
    private static ServletContext servletContext = null;
    static void setServletContext(ServletContext ctx) {
        servletContext = ctx;
    }

    @Bean(initMethod = "init")
```

```
    ViewResolver viewResolver( //
            @Autowired ServletContext servletContext, //
            @Value("${summer.web.freemarker.template-path:/WEB-
INF/templates}") String templatePath, //
            @Value("${summer.web.freemarker.template-encoding:UTF-8}")
String templateEncoding) {
        return new FreeMarkerViewResolver(servletContext, templatePath,
templateEncoding);
    }

    @Bean
    ServletContext servletContext() {
        return Objects.requireNonNull(servletContext, "ServletContext is
not set.");
    }
}
```

默认创建一个 `ViewResolver` 和 `ServletContext` ，注意 `ServletContext` 本身实际上是由Servlet容器提供的，但我们把它放入IoC容器，是因为许多涉及到Web的组件，如 `ViewResolver` ，需要注入 `ServletContext` ，才能从指定配置加载文件。

最后，整理代码，添加一些能方便用户开发的额外功能，例如处理静态文件等功能，我们的Web MVC模块就开发完毕！

注意事项

在整个HTTP处理流程中，入口是 `DispatcherServlet` 的 `service()` 方法，整个流程如下：

1. Servlet容器调用 `DispatcherServlet` 的 `service()` 方法处理HTTP请求；
2. `service()` 根据GET或POST调用 `doGet()` 或 `doPost()` 方法；
3. 根据URL依次匹配 `Dispatcher` ，匹配后调用 `process()` 方法，获得返回值；
4. 根据返回值写入响应：
    1. void或null返回值无需写入响应；
    2. String或byte[]返回值直接写入响应（或重定向）；
    3. REST类型写入JSON序列化结果；
    4. ModelAndView类型调用ViewResolver写入渲染结果。
5. 未匹配到判断是否静态资源：

1. 符合静态目录（默认 `/static/` ）则读取文件，写入文件内容；
2. 网站图标（默认 `/favicon.ico` ）则读取 `.ico` 文件，写入文件内容；

6. 其他情况返回404。

由于在处理的每一步都可以向 `HttpServletResponse` 写入响应，因此，后续步骤写入时，应判断前面的步骤是否已经写入并发送了HTTP Header。 `isCommitted()` 方法就是干这个用的：

```
if (!resp.isCommitted()) {
    resp.resetBuffer();
    writeTo(resp);
}
```

测试

`DispatcherServlet` 处理HTTP请求时，一些组件是Servlet容器提供的，如：

- HttpServletRequest；
- HttpServletResponse；
- HttpSession；
- ServletContext。

要模拟这些对象用Mockito之类的框架代码量也很大，我们可以借用Spring提供的test模块，它实现了完善的MockHttpServletRequest、MockServletContext等对象，便于测试。我们导入：

- org.springframework:spring-test:6.0.0
- org.springframework:spring-web:6.0.0

注意设置 `<scope>test</scope>` ，即仅在测试代码中用到了Spring提供的Mock对象，业务代码并不会用到Spring的任何功能。一个简单的测试用例如下：

```
@Test
void getGreeting() throws ServletException, IOException {
    // 创建MockHttpServletRequest:
    var req = createMockRequest("GET", "/greeting", null, Map.of("name",
"Bob"));
    // 创建MockHttpServletResponse:
    var resp = createMockResponse();
```

```
    // 处理请求:
    this.dispatcherServlet.service(req, resp);
    // 验证200响应:
    assertEquals(200, resp.getStatus());
    // 验证响应内容:
    assertEquals("Hello, Bob", resp.getContentAsString());
}
```

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

开发Web应用

原文链接

在我们开发完Summer Framework的所有组件后，就可以基于Summer Framework来开发一个真正的Web应用了！

我们来一步一步创建一个 `hello-webapp` 的应用，它基于Maven项目，符合webapp标准。

首先，我们在 `src/main/resources` 下定义配置文件 `application.yml` ：

```
app:
  title: Hello Application
  version: 1.0

summer:
  datasource:
    url: jdbc:sqlite:test.db
    driver-class-name: org.sqlite.JDBC
    username: sa
    password:
```

紧接着，定义IoC容器的配置类如下：

```
@ComponentScan
@Configuration
@Import({ JdbcConfiguration.class, WebMvcConfiguration.class })
public class HelloConfiguration {
}
```

以及相关的 `UserService` 、 `MvcController` 等Bean。

接下来是在 `src/main/webapp/WEB-INF` 目录下创建Servlet容器所需的配置文件 `web.xml` ：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<web-app ...>
    <display-name>Hello Webapp</display-name>

    <context-param>
        <param-name>configuration</param-name>
```

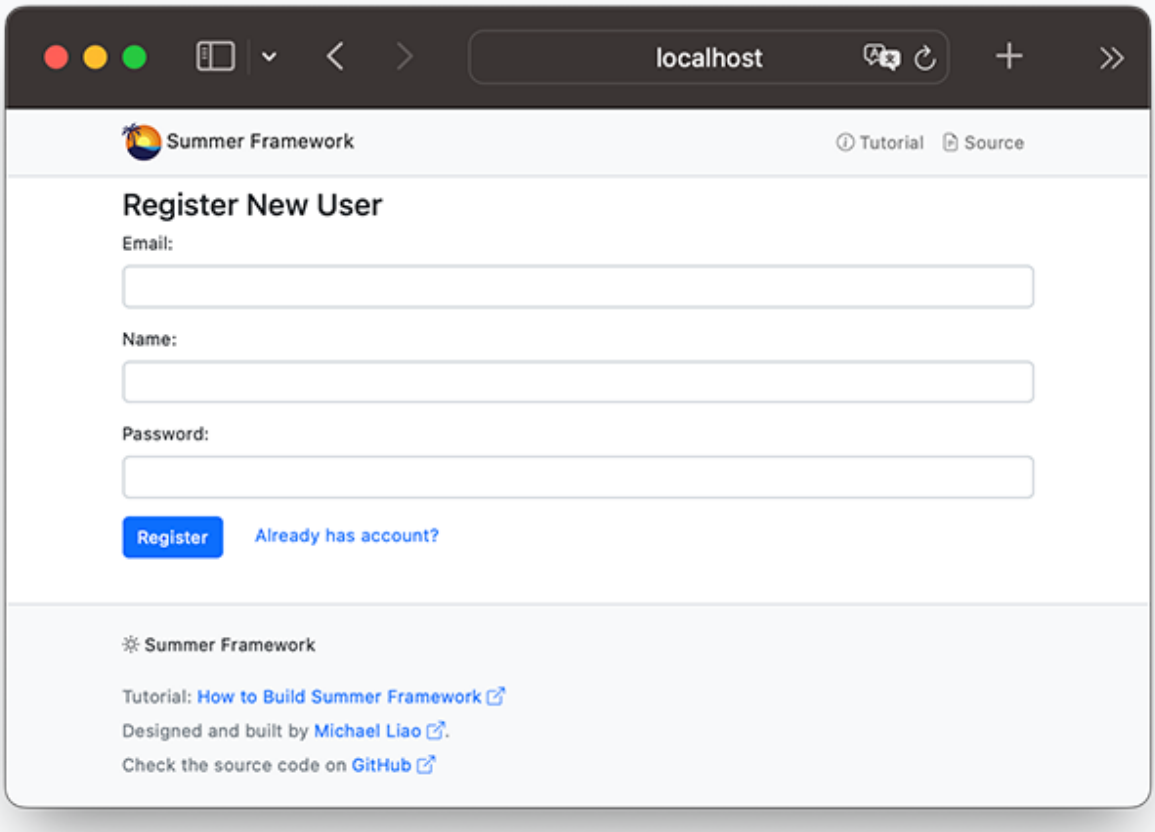
```
        <param-value>com.itranswarp.hello.HelloConfiguration</param-value>
    </context-param>

    <listener>
        <listener-
class>com.itranswarp.summer.web.ContextLoaderListener</listener-class>
    </listener>
</web-app>
```

Servlet容器会自动读取 `web.xml` ，根据配置的Listener启动Summer Framework的web模块的 `ContextLoaderListener` ，它又会读取 `web.xml` 配置的 `<context-param>` 获得配置类的全名 `com.itranswarp.hello.HelloConfiguration` ，最后用这个配置类完成IoC容器的创建。创建后自动注册Summer Framework的 `DispatcherServlet` ，以及Web应用程序定义的 `FilterRegistrationBean` ，这样就完成了整个Web应用程序的初始化。

其他用到的资源包括：

- 存储在 `src/main/webapp/static` 目录下的静态资源；
- 存储于 `src/main/webapp/favicon.ico` 的图标文件；
- 存储在 `src/main/webapp/WEB-INF/templates` 目录下的模板。

最后，运行 `mvn clean package` 命令，在 `target` 目录得到最终的war包，改名为 `ROOT.war` ，复制到Tomcat的 `webapps` 目录下，启动Tomcat，可以正常访问 `http://localhost:8080` ：



参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

实现Boot

原文链接

虽然基于Summer Framework可以开发一个完整的Web应用程序，但是，开发过程还是涉及到先打包，再复制到Tomcat的webapps目录，再启动Tomcat。在开发过程中，经常需要反复来好多次，每次停止、复制、启动，要调试还要接入远程，搞着搞着就会发现，这种开发模式太麻烦。

直接用Spring Framework开发Web应用也是一样，所以才有了Spring Boot，它最让人省心的一点，就是不用装Tomcat，不用复制war包，打个jar包直接就能跑！

所以，为了简化开发流程，我们也仿照Spring Boot，编写一个 `boot` 模块，能直接启动运行！

注意Spring Boot除了直接打包运行外，还提供很多其他功能，而Summer Framework的boot模块只提供打包运行功能，无其他额外功能。

下面开始正式开发Summer Framework的boot模块。

评论

启动嵌入式Tomcat

原文链接

Spring Boot实现一个jar包直接运行的原理其实就是把Tomcat打包进去，自己再写个 `main()` 函数：

```
@SpringBootApplication
public class AppConfig {
    public static void main(String[] args) {
        SpringApplication.run(AppConfig.class, args);
    }
}
```

在 `SpringApplication.run()` 方法内，Spring Boot会启动嵌入式Tomcat，然后再初始化Spring的IoC容器，实际上就是一个jar包内包含了嵌入式Tomcat、Spring IoC容器、Web MVC模块以及应用程序自己开发的Bean。

因此，我们也提供一个 `SummerApplication` ，实现 `run()` 方法如下：

```
public class SummerApplication {
    public static void run(String webDir, String baseDir, Class<?>
configClass, String... args) {
        // 读取application.yml配置:
        var propertyResolver = WebUtils.createPropertyResolver();
        // 创建Tomcat服务器:
        var server = startTomcat(webDir, baseDir, configClass,
propertyResolver);
        // 等待服务器结束:
        server.await();
    }
}
```

这里多了两个参数： `webDir` 和 `baseDir` ，这是为启动嵌入式Tomcat准备的，启动嵌入式Tomcat的代码如下：

```
Server startTomcat(String webDir, String baseDir, Class<?> configClass,
PropertyResolver propertyResolver) throws Exception {
    int port = propertyResolver.getProperty("${server.port:8080}",
```

```
int.class);
    // 实例化Tomcat Server:
    Tomcat tomcat = new Tomcat();
    tomcat.setPort(port);
    // 设置Connector:
    tomcat.getConnector().setThrowOnFailure(true);
    // 添加一个默认的Webapp，挂载在'/':
    Context ctx = tomcat.addWebapp("", new File(webDir).getAbsolutePath());
    // 设置应用程序的目录:
    WebResourceRoot resources = new StandardRoot(ctx);
    resources.addPreResources(new DirResourceSet(resources, "/WEB-
INF/classes", new File(baseDir).getAbsolutePath(), "/"));
    ctx.setResources(resources);
    // 设置ServletContainerInitializer监听器:
    ctx.addServletContainerInitializer(new
ContextLoaderInitializer(configClass, propertyResolver), Set.of());
    // 启动服务器:
    tomcat.start();
    return tomcat.getServer();
}
```

那么我们的IoC容器，以及注册 `Servlet` 、 `Filter` 是在哪进行的？答案是我们在 `startTomcat()` 内注册了一个 `ServletContainerInitializer` 监听器，这个监听器负责启动IoC容器与注册 `Servlet` 、 `Filter` ：

```
public class ContextLoaderInitializer implements
ServletContainerInitializer {
    final Class<?> configClass;
    final PropertyResolver propertyResolver;

    public ContextLoaderInitializer(Class<?> configClass, PropertyResolver
propertyResolver) {
        this.configClass = configClass;
        this.propertyResolver = propertyResolver;
    }

    @Override
    public void onStartup(Set<Class<?>> c, ServletContext ctx) throws
ServletException {
        // 设置ServletContext:
```

```
        WebMvcConfiguration.setServletContext(ctx);
        // 启动IoC容器:
        ApplicationContext applicationContext = new
AnnotationConfigApplicationContext(this.configClass,
this.propertyResolver);
        // 注册Filter与DispatcherServlet:
        WebUtils.registerFilters(ctx);
        WebUtils.registerDispatcherServlet(ctx, this.propertyResolver);
    }
}
```

没有复用web模块的 `ContextLoaderListener` 是因为Tomcat不允许没有在 `web.xml` 中声明的 `Listener` 注册 `Filter` 与 `Servlet` ，而我们写boot模块原因之一也是要做到不需要 `web.xml` 。

这样我们就完成了boot模块的开发，它其实就包含两个组件：

- SummerApplication：负责启动嵌入式Tomcat；
- ContextLoaderInitializer：负责启动IoC容器，注册 `Filter` 与 `DispatcherServlet` 。

下面就可以编写一个基于 `boot` 的Web应用程序了。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

开发Boot应用

原文链接

我们已经准备好boot模块了，下一步是使用boot来开发Web应用程序。

我们还是先定义一个符合Maven结构的Web应用程序 `hello-boot` ，先定义配置类 `HelloConfiguration` ：

```
@ComponentScan
@Configuration
@Import({ JdbcConfiguration.class, WebMvcConfiguration.class })
public class HelloConfiguration {
}
```

以及 `UserService` 、 `MvcController` 等业务Bean。

我们直接写个 `main()` 方法启动：

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        SummerApplication.run("src/main/webapp", "target/classes",
HelloConfiguration.class, args);
    }
}
```

直接从IDE运行，是没有问题的，能顺利启动Tomcat、创建IoC容器、注册 `Filter` 和 `DispatcherServlet` ，可以直接通过浏览器访问。

但是，如果打一个war包，直接运行 `java -jar xyz.war` 是不行的！会直接报错：找不到Main这个class！

这是为什么呢？我们要从JVM的类加载机制说起。

当我们用 `java` 启动一个Java程序时，需要用 `-cp` 参数设置classpath（默认为当前目录 `.` ）；当我们用 `java -jar xyz.jar` 启动一个Java程序时，JVM忽略 `-cp` 参数，默认classpath为 `xyz.jar` ，这样，如果能在jar包中找到对应的class，就可以正常运行。

要注意的一点是，JVM从jar包加载class，是从jar包的根目录查找的。如果它要加载 `com.itranswarp.hello.Main` ，那么， `xyz.jar` 必须按如下目录组织：

```
xyz.jar
└── com
    └── itranswarp
        └── hello
            └── Main.class
```

而我们在用Maven打war包时，结构是这样的：

```
xyz.war
└── WEB-INF
    └── classes
        └── com
            └── itranswarp
                └── hello
                    └── Main.class
```

自然无法加载 `Main` 。（注意jar包和war包仅扩展名不同，对JVM来说是完全一样的）

那为什么我们把 `xyz.war` 扔到Tomcat的webapps目录下就能正常运行呢？因为Tomcat启动后，并不使用JVM的ClassLoader加载class，而是为每个webapp创建一个单独的ClassLoader，这个ClassLoader在如下位置搜索class：

- WEB-INF/classes目录；
- WEB-INF/lib目录下的所有jar包。

因此，我们要运行的 `xyz.war` 包必须同时具有Web App的结构，又能在根目录下搜索到应用程序自己编写的 `Main` ：

```
xyz.jar
├── com
│   └── itranswarp
│       └── hello
│           └── Main.class
└── WEB-INF
    ├── classes
    └── libs
```

解决方案是在打包时复制所有编译的class到war包根目录，并添加启动类入口。修改 `pom.xml` ：

```
<project ...>
    ...

    <build>
        <finalName>${project.name}</finalName>
        <plugins>
```

```
            <plugin>
                <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
                <artifactId>maven-war-plugin</artifactId>
                <version>3.3.2</version>
                <configuration>
                    <!-- 复制classes到war包根目录 -->
                    <webResources>
                        <resource>

<directory>${project.build.directory}/classes</directory>
                        </resource>
                    </webResources>
                    <archiveClasses>true</archiveClasses>
                    <archive>
                        <manifest>
                            <!-- main启动类 -->

<mainClass>com.itranswarp.hello.Main</mainClass>
                        </manifest>
                    </archive>
                </configuration>
            </plugin>
        </plugins>
    </build>
</project>
```

再次打包，运行，又会得到找不到Class的错误，不过这次是 `SummerApplication` 。

这又是什么原因呢？很明显 `Main` 已经找到了，但是 `SummerApplication` 在哪呢？它其实在 `WEB-INF/lib/summer-boot-1.x.x.jar` ，JVM不会在 `WEB-INF/lib` 下搜索Class，也不会在一个jar包内搜索“jar包内的jar包”。

怎么破？

答案是 `Main` 运行时先自解压，再让JVM能搜索到 `WEB-INF/lib/summer-boot-1.x.x.jar` 即可。

需要先修改 `main()` 方法代码：

```
public static void main(String[] args) throws Exception {
    // 判定是否从jar/war启动:
```

```
    String jarFile =
Main.class.getProtectionDomain().getCodeSource().getLocation().getFile();
    boolean isJarFile = jarFile.endsWith(".war") ||
jarFile.endsWith(".jar");
    // 定位webapp根目录:
    String webDir = isJarFile ? "tmp-webapp" : "src/main/webapp";
    if (isJarFile) {
        // 解压到tmp-webapp:
        Path baseDir = Paths.get(webDir).normalize().toAbsolutePath();
        if (Files.isDirectory(baseDir)) {
            Files.delete(baseDir);
        }
        Files.createDirectories(baseDir);
        System.out.println("extract to: " + baseDir);
        try (JarFile jar = new JarFile(jarFile)) {
            List<JarEntry> entries =
jar.stream().sorted(Comparator.comparing(JarEntry::getName)).collect(Collec
tors.toList());
            for (JarEntry entry : entries) {
                Path res = baseDir.resolve(entry.getName());
                if (!entry.isDirectory()) {
                    System.out.println(res);
                    Files.createDirectories(res.getParent());
                    Files.copy(jar.getInputStream(entry), res);
                }
            }
        }
        // JVM退出时自动删除tmp-webapp:
        Runtime.getRuntime().addShutdownHook(new Thread(() -> {
            try {

Files.walk(baseDir).sorted(Comparator.reverseOrder()).map(Path::toFile).for
Each(File::delete);
            } catch (IOException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }));
    }
    SummerApplication.run(webDir, isJarFile ? "tmp-webapp" :
```

```
"target/classes", HelloConfiguration.class, args);
}
```

再修改 `pom.xml` ，加上Classpath：

```
<project ...>
    ...

    <build>
        <finalName>${project.name}</finalName>
        <plugins>
            <plugin>
                <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
                <artifactId>maven-war-plugin</artifactId>
                <version>3.3.2</version>
                <configuration>
                    <!-- 复制classes到war包根目录 -->
                    <webResources>
                        <resource>

<directory>${project.build.directory}/classes</directory>
                        </resource>
                    </webResources>
                    <archiveClasses>true</archiveClasses>
                    <archive>
                        <manifest>
                            <!-- 添加Class-Path -->
                            <addClasspath>true</addClasspath>
                            <!-- Classpath前缀 -->
                            <classpathPrefix>tmp-webapp/WEB-
INF/lib/</classpathPrefix>
                            <!-- main启动类 -->

<mainClass>com.itranswarp.hello.Main</mainClass>
                        </manifest>
                    </archive>
                </configuration>
            </plugin>
        </plugins>
```

```
    </build>
</project>
```

当我们打包后，我们来分析启动流程。我们先把war包解压到 `tmp-webapp` ，它的结构如下：

```
tmp-webapp
├── META-INF
│   └── MANIFEST.MF
├── WEB-INF
│   ├── classes
│   ├── lib
│   │   ├── summer-boot-1.0.3.jar
│   │   └── ... other jars ...
│   └── templates
│       └── ... templates.html
├── application.yml
├── com
│   └── itranswarp
│       └── hello
│           ├── Main.class
│           └── ... other classes ...
├── favicon.ico
├── logback.xml
└── static
    └── ... static files ...
```

可见， `com/itranswarp/hello/Main.class` 、 `application.yml` 、 `logback.xml` 都位于war包的根目录，可以被JVM的ClassLoader直接加载，而想要加载 `WEB-INF/lib/summer-boot-1.x.x.jar` ，我们需要给出Classpath。通过 `java -jar xyz.war` 启动时，虽然 `-cp` 参数无效，但JVM会自动从 `META-INF/MANIFEST.MF` 中读取 `Class-Path` 条目，我们用Maven写入后内容如下：

```
Manifest-Version: 1.0
Created-By: Maven WAR Plugin 3.3.2
Build-Jdk-Spec: 17
Main-Class: com.itranswarp.hello.Main
Class-Path: tmp-webapp/WEB-INF/lib/summer-boot-1.0.3.jar tmp-webapp/WEB-
 INF/lib/summer-web-1.0.3.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/summer-context-1.0.
 3.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/snakeyaml-2.0.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/j
 ackson-databind-2.14.2.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/jackson-annotations-2
 .14.2.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/jackson-core-2.14.2.jar tmp-webapp/WEB
 -INF/lib/jakarta.annotation-api-2.1.1.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/slf4j-
 api-2.0.7.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/logback-classic-1.4.6.jar tmp-weba
 pp/WEB-INF/lib/logback-core-1.4.6.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/freemarker
 -2.3.32.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/summer-jdbc-1.0.3.jar tmp-webapp/WEB
```

```
-INF/lib/summer-aop-1.0.3.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/byte-buddy-1.14.2.
jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/HikariCP-5.0.1.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/to
mcat-embed-core-10.1.7.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/tomcat-annotations-ap
i-10.1.7.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/tomcat-embed-jasper-10.1.7.jar tmp-
webapp/WEB-INF/lib/tomcat-embed-el-10.1.7.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/ec
j-3.32.0.jar tmp-webapp/WEB-INF/lib/sqlite-jdbc-3.41.2.1.jar
```

JVM会读取到 `Main-Class` 和 `Class-Path` ，由于已经解压，就能在 `tmp-webapp` 目录中顺利搜索到 `tmp-webapp/WEB-INF/lib/summer-boot-1.x.x.jar` 。后续Tomcat启动后，以 `tmp-webapp` 作为web目录本身就是标准的Web App，Tomcat的ClassLoader也能继续从 `WEB-INF/lib` 加载各种jar包。

我们总结一下，打包时做了哪些工作：

- 复制所有编译的class到war包根目录；
- 修改 `META-INF/MANIFEST.MF` ：
  - 添加 `Main-Class` 条目；
  - 添加 `Class-Path` 条目。

运行时的流程如下：

1. JVM从war包加载Main类，执行 `main()` 方法；
2. 立刻自解压war包至 `tmp-webapp` 目录；
3. 后续加载 `SummerApplication` 时，JVM根据Class-Path能找到 `tmp-webapp/WEB-INF/lib/summer-boot-1.x.x.jar` ，因此可顺利加载；
4. 启动Tomcat，将 `tmp-webapp` 做为Web目录；
5. 作为Web App使用Tomcat的ClassLoader加载其他组件。

这样我们就实现了一个可以直接用 `java -jar xyz.war` 启动的Web应用程序！

有的同学会问，我们的boot应用， `main()` 方法写了一堆自解压代码，而且，需要在 `pom.xml` 中配置很多额外的设置，对比Spring Boot应用，它对 `main()` 方法没有任何要求，而且，在 `pom.xml` 中也只需配置一个 `spring-boot-maven-plugin` ，没有其他额外配置，相比之下简单多了，那么，Spring Boot是如何实现的？

我们找一个Spring Boot打包的jar解压后就明白了，它的jar包结构如下：

```
xyz.jar
├── BOOT-INF
│   ├── classes
│   │   ├── application.yml
│   │   ├── logback-spring.xml
│   │   ├── static
│   │   │   └── ... static files ...
│   │   └── templates
│   │       └── ... templates ...
│   └── lib
│       ├── spring-boot-3.0.0.jar
│       └── ... other jars ...
├── META-INF
│   └── MANIFEST.MF
└── org
    └── springframework
        └── boot
            └── loader
                ├── JarLauncher.class
                └── ... other classes ...
```

Spring Boot并不能修改JVM的ClassLoader机制，因此，Spring Boot的jar包仍然需要在 `META-INF/MANIFEST.MF` 中声明 `Main-Class` ，只不过它声明的不是应用程序自己的 `Main` ，而是Spring Boot的 `JarLauncher` ：

```
Main-Class: org.springframework.boot.loader.JarLauncher
```

在jar包的根目录，JVM可以加载 `JarLauncher` 。一旦加载了 `JarLauncher` 后，Spring Boot会用自己的ClassLoader去加载其他的class和jar包，它在 `BOOT-INF/classes` 和 `BOOT-INF/lib` 下搜索。注意Spring Boot自定义的ClassLoader并不需要设置 `Class-Path` ，它可以完全自定义搜索路径，包括搜索“jar包中的jar包”。

因此，Spring Boot采用了两种机制来实现可执行jar包：

1. 提供Maven插件，自动设置 `Main-Class` ，复制相关启动Class，按 `BOOT-INF` 组织class和jar包；
2. 提供自定义的ClassLoader，可以在jar包中搜索 `BOOT-INF/classes` 和 `BOOT-INF/lib` 。

这样就使得编写Web应用程序时能简化打包和启动流程。代价就是编写一个自定义的Maven插件和自定义的ClassLoader工作量很大，有兴趣的同学可以试着实现Spring Boot的机制。

参考源码

可以从GitHub或Gitee下载源码。

GitHub

评论

期末总结

原文链接

终于到了期末总结的时刻了！

通过开发一个迷你版Spring Framework，相信大家对Spring框架又有了更深刻的理解。通过自己从零开始手写Summer Framework，写完后应该完全可胜任Java架构师这样的高级职位！

评论

手写Spring

自己动手，从零开发一个迷你版Spring框架！

作者: 廖雪峰

版本: 2025-06-07

网站: https://liaoxuefeng.com/books/summerframework/