How Tomcat Works

# 前言

最佳伴侣：

https://github.com/Aresyi/HowTomcatWorks

这个是一个国人阅读这本书的代码实践，非常不错。这个作者也翻译了这本书。

这份文档，主要目的也是把我实践tomcat的整个过程记录下来。

# Overview

这本书讨论的是Tomcat4.1/5.0，介绍这款开源软件的内部实现机制。Tomcat是一个复杂的系统，由许多组件组成。这本书介绍了一个总体的场景，介绍了tomcat各个组件。

## 整体处理流程

我们在开头部分，就要把Tomcat整个架构说清楚。Tomcat接收到一个来自客户端的http请求，内部到底是如何处理的，这个整个流程，要在开头的时候就介绍清楚。

# Chap1 A Simple Web Server

这章介绍web server(HTTP server)是如何运作的。通过代码实例，介绍怎么搭建一个http server。

|  |
| --- |
| 官方实现： |

|  |
| --- |
| 自己实现：  HttpServer.java //  Request.java  Response.java |

# Chap2 A Simple Servlet Container

这章介绍如何开发一个简单的servlet容器。然后，我们会进化成一个功能更加复杂的servlet容器。

|  |
| --- |
| 官方实现： |

|  |
| --- |
| 自己实现：  PrimitiveServlet.java // 基础的Servlet处理类，实现了javax.servlet.Servlet接口  HttpServer1.java // 这个httpserver在之前版本的基础上，加入了对Servlet的处理  StaticResourcePrcessor.java // the processor to deal with the static resource |

# Chap3 Connector

Tomcat主要包含两大模块：Container和Connector。其中Container是Java容器，Connector是用于创建requests/responses。

这章介绍Connector.。Connector主要是遵循servlet规范，产生以下两个对象：

javax.servlet.http.HttpServletRequest

javax.servlet.http.HttpServletResponse

供servlet容器消费这两个对象

|  |
| --- |
| 官方实现： |

|  |
| --- |
| 自己实现：  BootStrap.java  HttpConnector.java  HttpProcessor.java process() parseRequest() |

# Chap4 Tomcat Default Connector

Chap3中开发的一个简单的Connector,主要是帮助我们理解Tomcat的Default Connector。

Connector的功能是什么呢？

1.等待客户端的HTTP请求；

2.生成请求对象/返回对象： HttpServletRequest/HttpServletResponse

3.将请求对象/返回对象传递给servlet容器(Container)

Connector是一个单独的实现组件，和servlet container是解耦的，因此是可替换的。只要实现如下接口就行了：org.apache.catalina.Connector, 这个思想我们要好好学习一下。

Connector需要兼容HTTP各个版本。

比如需要支持HTTP1.1版本的新功能：Persistent Connection/Chunked Encoding/100 Status

为了支持并发，Connector需要管理一个线程池，这个线程池中每个线程是之前的HttpProcessor，HttpProcessor用于处理单个Http请求。

|  |
| --- |
| 官方实现：  Connector.java // base class of connector  核心的方法包括：getContainer()/setContainer()/createRequest()/createResonse()  Request.java // implementation in tomcat, implement the interface of HttpServletRequest in javax  Response.java // implementation in tomcat, implement the interface of HttpServletResponse in javax |

|  |
| --- |
| 自己实现：  SimpleContainer.java  BootStrap.java |

SimpleContainer.java中，主要是实现了Container interface的invoke()方法：

invoke(Request request, Response response)

这个方法很清楚，就是调用一个connector实现，处理请求，返回响应内容。

到这章为止，我们通过分析Connector的实现，在一个默认的Container中，调用Connector的实现逻辑，实现了处理Servlet Request，并返回Servlet Response的功能。

# Chap5 Container

Container代表的是Java容器，主要是接收servlet请求，然后响应给客户端。container主要包括如下的接口：

org.apache.catalina.Container

有四类Container:

Engine, Host, Context, and Wrapper

这四个接口是继承了Container接口。所以这四个接口都代表一种类型的Container。

这章讨论Context, and Wrapper 。

Container采用的是pipeline机制。

|  |
| --- |
| 官方实现：  Container.java // the interface 代表一个Java容器容器  Engine.java // the interface that extends from the interface Container  Host.java // the interface that extends from the interface Container  Context.java // 代表web application，可以包含多个Wrapper  Wrapper.java // 代表servlet definition，包含整个servlet生命周期，包括init/service/destroy  Pipeline.java // interface  Valve.java // interface 这个接口代表一次客户端请求中的一个组件  Contained.java // the interface |

我们分析一下Container接口有哪些重要方法：

|  |
| --- |
| invoke(Request request, Response response) // 这个方法很清楚，就是调用一个connector实现，处理请求，返回响应内容 |

|  |
| --- |
| 自己实现：  SimpleLoader  SimplePipeline  SimpleWrapper  SimpleContextValve  SimpleContextMapper  SimpleContext  BootStrap1  BootStrap2 |

# Chap6 Lifecycle

Tomcat启动的时候，需要启动很多组件；Tomcat关闭的时候，也需要关闭很多组件。这些组件的启动和关闭，由Lifecycle这个接口来管理。

|  |
| --- |
| 官方实现：  LifecycleEvent.java  LifecycleSupport.java |

|  |
| --- |
| 自己实现：  SimpleContextLifecyleListener.java  SimpleLoader.java  SimplePipeline.java  SimpleWrapper.java |

# Chap7 Logger

Tomcat中，日志相关的核心接口是Logger

|  |
| --- |
| 官方实现：  Logger.java // interface  LoggerBase.java // base class  SystemOutLogger.java  SystemErrLogger.java |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap8 Loader

所谓的Loader，就是Tomcat中，加载Servlet类的类加载器。

## 代码说明

从整体上来看，这章引入的主要是

### Java Class Loader

这个小结介绍了Java Class Loader加载Java Class类的的顺序，介绍得非常清楚，实际加载顺序为：

1. Bootstrap
2. Extension
3. System Class loader

我们具体说明一下：

1. Bootstrp

所谓的bootstrap，其实就是我们启动JVM运行Java程序要用到的核心类，具体代码可以参考我们本地JDK1.8环境的Java源码：

/Library/Java/JavaVirtualMachines/jdk1.8.0\_71.jdk/Contents/Home/src/java

1. Extension

所谓的extension，就是一些扩展的类，一般是Java实现厂商扩展的一些方便开发的类，参考本地的扩展类：

/Library/Java/JavaVirtualMachines/jdk1.8.0\_71.jdk/Contents/Home/src/javax

1. System Class loader

就是我们当前Java程序指定的classpath

比如对于IDEA工程来说，就是out/production目录

对于MyEclipse来书，就是bin目录

还有就是我们手工指定的classpath，比如

export CLASSPATH=.:$JAVA\_HOME/lib/dt.jar:$JAVA\_HOME/lib/tools.jar

1. User specified class

最后才去用户指定的loader目录找要执行的class类

比如我们通过 URLClassLoader初始化loader类的时候，指定的加载路径：

file:/Users/zhoushuo/Documents/workspace/TomcatWin/WEB-INF/classes/

以上的加载顺序是从1到4。

### The **Loader** Interface

### The **Reload** Interface

### The **WebappLoader** Class

### The **WebappClassLoader** Class

|  |
| --- |
| 官方实现：  Loader.java // interface  Reloader.java // interface  WebappLoader.java // an implementation for Loader interface  ResourceEntry.java // used for class load caching |

|  |
| --- |
| 自己实现：  SimpleContextConfig.java |

## 要关注的问题

我们看Loader这块内容时，要关注这几个问题：

1. reload的时候，如何保证cache中加载的class重新加载？
2. 一个tomcat下，部署的不同应用，如何实现隔离？
3. 一个tomcat下，部署的不同应用，如何共享公共的jar包？
4. 如何限制tomcat上部署的某个应用，只能访问本应用范围内的类，仅限于WEB-INF/classes和WEB-INF/lib这两个目录？

## 总结

# Chap9 Session Management

## 客户端Session使用场景(Cookie)

为了说清楚Session是怎么使用的，我们先看看Session以Cookie的形式保存在客户端浏览器的内容，究竟是什么。

### Amazon

session到底怎么用呢？我们尝试访问一下Amazon.cn，当我们用账号登录之后，可以看到，几乎每次访问Amazon的后台服务，都会在request http header 中看到Cookie，标识了我在Amazon的登录状态。

其中整体的http header key是”Cookie”；对应http header value是Cookie信息。Cookie信息非常丰富，包括核心的session-id,session-token,以及session-id-time。这些信息字段以分号分隔。格式非常清晰。

服务端接收到Cookie中的session信息，会做出相应的处理，包括身份验证、session超时验证等等。

关于session-id信息，那就是标识某个客户端。

关于session-token，我们要好好讨论一下。对于session-id，我们知道，需要服务端保存这个session-id信息。这样才能验证客户端的身份。但是我们知道，服务端往往要应对成千上万的客户端请求，如果把这些客户端的session-id信息都保存在服务端，那压力无疑是巨大的。那么有一种解决方案是，服务器在生成客户端的session-id之后，将session-id、登陆时间等session信息通过加密算法和秘钥进行加密，生成token。然后将session-id等登陆信息和token一起返回给客户端。客户端将session信息和token保存在客户端cookie，后续请求服务端的时候就发送session信息和token。

服务端接收到session信息和token之后，再次对session信息进行加密计算，判断加密结果和token信息是否一致。从而实现了对session信息的验证。保证客户端上送的session信息是未经篡改的。

|  |
| --- |
| **Cookie:**  session-id=458-9781356-6991254;  ubid-acbcn=460-9604323-6863029;  session-token="/MoPj9tOHgXfCyE+btvyq63b6Zr9WkRz/Jeq0CzWD0fj4FG/Wwm7R3wOL6ZdEgWBXIfIizhciSFGQB3p7s7ERIyigilMOQ79cuDQgpeGuugu+6BCT9KTRV18E1V/F6NAsG7ZNbWGUACD1Em8OToenGFnfO4SaApvRmbQvQRd+bae1gPTPiIq4YaQxIBHAaNoILy73YcSrID450FsMqUCCYWZUY32I6pEj2iaYmhERIk=";  x-acbcn="0lgdztJIjcbGVEGDb6PySdQUz?oRsf7r";  at-main=Atza|IwEBIL-f9Fdn\_AgPS\_U82BGH3h0Zt-SOAAy4YzSr7ch2ITIPM1vEYAwdMwneYiIyA7plX3WzM5Wivkc\_eowUnkAJiR4Xa6-287fagZxrz9slW6aSr4h08-fAXzbg0GcpmhuYEWcQNCGgtvupCU7RW4aAFwzHHDbx-WQs999NVq\_ICMd0\_T\_Qii679RvLRCE9SwEEggHuIUiDYoy4bpaYQlFvL7Y\_;  sess-at-main="q4jzEbQmhNXZlTSZjZEJ4LSgMdX1RC2F8JfvJ4WUCtQ=";  sst-main=Sst1|PQEiDBBVY940w3Sp7gAnUFCoCbBp9M5iKRdVQMGDndzXZI-QE\_HklJfdS8ebJhn4IYZG30EIv16FtQb4ulfz08pUJKmX6OeaXEUykoMAfMbDeTLergHFpJBr-yK9\_8aChxMYZ-Oa\_s3N0lsPrhzhpRZuhZCAJHzGgCAGskSGI4eJtXDtnX-JwPG9HAYtSkHZ5ovbWn6ViaTm1t0NuGzyIYbYOAiYCjY1vTSWjQANK2EO5PyeMoLdYQxGRkUqd\_ih53x4ZvHlQRLS0tEuNzazZ\_OjJrsHoXHNGOMSzTebSEkUCDQ; lc-acbcn=zh\_CN;  i18n-prefs=CNY;  session-id-time=2082729601l |

### 宁波银行网上银行

我们再看一个银行的例子。可以看到，宁波银行网上银行的cookie信息字段更加丰富，安全性做的更好：Cookie下的各个key/value值还做了转码，没办法直观看出cookie中各个字段的意思。同时，还有一个类似Token的字段”DFP\_DEVICEID”，可能是起到Token的作用，用来校验SESSION信息是否经过了篡改。

|  |
| --- |
| **Cookie:**  \_trs\_uv=kke2stws\_352\_12v8; Hm\_lvt\_8b9480950a6cadd80a66f238d3e4542e=1611670160; Hm\_lpvt\_8b9480950a6cadd80a66f238d3e4542e=1611670160; SF\_cookie\_15=29469227; JSESSIONID=0000DogtGcZdExS57PDc2cYNjNM:-1; Hm\_lvt\_077a59fb58754888f7db312d1e4c8296=1611670162; Hm\_lpvt\_077a59fb58754888f7db312d1e4c8296=1611670162; web\_vist\_num=1;  si=0fdeb02d7a554b70a5dc49facd1f1389;  is\_si\_expire=0;  iss\_webanalytics\_id=ab8497c472ff4c8d81c5bc769fcb0be0;  nu=1;  BSFIT\_OkLJUJ=38R4HHP55SWXS41X; BSFIT\_SMART=B1D20ADBC2616DBCF719F3131F869B2E; BSFIT\_DEVICEID=bda80fb285c6a0eba0bbdba3894e1320f909f1961182a2e4c803381248a0e7c7;  BSFIT\_EXPIRATION=1612248382857; BSFIT\_TRACEID=60102292f89829f14aaa0048;  fp\_ver=4.8.6;  DFP\_EXPIRATION=1611701555788; DFP\_OkLJUJ=FIabtpLqsBKMygKiu3\_oFzGuqXcuhgi\_; DFP\_DEVICEID=VuuanUc1GkN3xYSXnQUC\_7y57tCi5AsX0Du-mPCgD2S36DIhfyE5Mx-QG5dtVc6HAKHSS5XpbPzuvmlGfXPruhIEhhoTaOJXF8lMW\_7U82J3gZENnZAU6jm1fMoo0VaLG-\_D3wy3r5vJf5MkfXiiym7OO\_WD7yQ7 |

### 科管系统

我们再来看一个内网的例子，宁波银行科管系统。这个系统由于是内部管理系统，因此session机制就非常简单，就只要通过session-id来标识客户端就行了。

### session使用场景总结

从以上例子可以看到，

## 服务端Session使用场景(Sevlet如何使用Session)

了解了Session的使用场景，我们再来到服务端。

### 创建Session

在服务端，当Servlet接收到来自客户端的登录请求(往往带来了用户名和密码)之后，会判断登录请求是否合法。如果合法，就创建Session信息，相当于为这个客户端的本次登录动作创建一个会话标识。对应到代码中就是：

|  |
| --- |
| MySessionServlet.java  protected void doGet(HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp)  {      Session session = (Session) req.getSession();      String sid = session.getId();  } |

备注：具体创建session对象的逻辑，参考HttpServletRequestBase.doGetSession()调用Manager创建Session。这里不展开了。

### 设置Session属性

Servlet端根据实际业务需求，设置session的各个属性，比如上一个小节Cookie中的各个key/value信息，比如user-id/session-token/expire信息等等。安全级别高的，Cookie内容就多。安全级别低的Cookie内容就少一些。

servlet执行完成后，会将session信息(包括session-id以及各个session属性)以Cookie的形式，放到http response header中，返回给客户端，保存在客户端浏览器中

### session验证

下次客户端再来访问服务端后台服务的时候，会带上Cookie信息，后台Servlet会根据Cookie中的session信息验证客户端的身份，并且验证客户端访问是否合法(比如是否篡改了Cookie信息)、Session是否过期，等等。安全等级高的，session验证逻辑复杂一些，安全等级低的，验证逻辑相对简单。

### Session超时、删除

服务端会定期验证session是否过期，把过期的session删除

### Session管理

对于那些高并发的场景，服务端可能会有成千上万的session对象，服务端会通过技术手段把过多的session持久化到本地或者数据库。

## 代码总体说明

Session管理主要有Manager.java这个接口来实现。Session manager做的事情主要是创建session/销毁session/更新session。

实现类为：ManagerBase/StandardManager/PersistentManager/DistributedManager

Session本身的接口为：Session.java/HttpSession.java.实现类为:StandardSession.java。

另外还有一个接口就是Store.java，用来将session持久化到本地。对应的实现类为：

|  |
| --- |
| 官方实现：  **Manager.java** // main interface of session management  ManagerBase.java // implementation of Manager interface  StandardManager // implementation of Manager interface  PersistentManager // implementation of Manager interface  DistributedManager // implementation of Manager interface  **Session.java** // Session相关的interface  HttpSession.java // session interface of servlet  StandardSession.java // an implementation of Session/HttpSession interface  Store.java // interface to provide a permanent store  StoreBase.java // implementation of Store interface |

## 代码详细说明

我们在”客户端Session使用场景”/”服务端Session使用场景”中已经搞清楚了Session的使用方式，接下来，我们看看在tomcat端，是如何处理Session的。

### 1.客户第一次登陆

客户第一次登陆后，会访问一个专门验证登陆信息的Servlet。Servlet开发者会在这个Servlet中创建Session。Servlet接收到来自客户端的登录请求后，会验证登录信息。一旦验证通过，就为这个用户这次登录创建一个session。

代码参考：

|  |
| --- |
| MySessionServet.doGet() |

### 2.tomcat端创建session对象实例

代码参考：

|  |
| --- |
| HttpRequestBase.doGetSession()  ManagerBase.createSession()  1.new StandardSession()  2.setId()  3.设置session参数(比如最大存活时间) |

### 3.将新创建的sesion对象实例纳入Manager管理

代码参考：

|  |
| --- |
| StandardSession.setId()  manager.add(this); |

### 4.新创建的session，以Cookie的形式，返回给客户端。

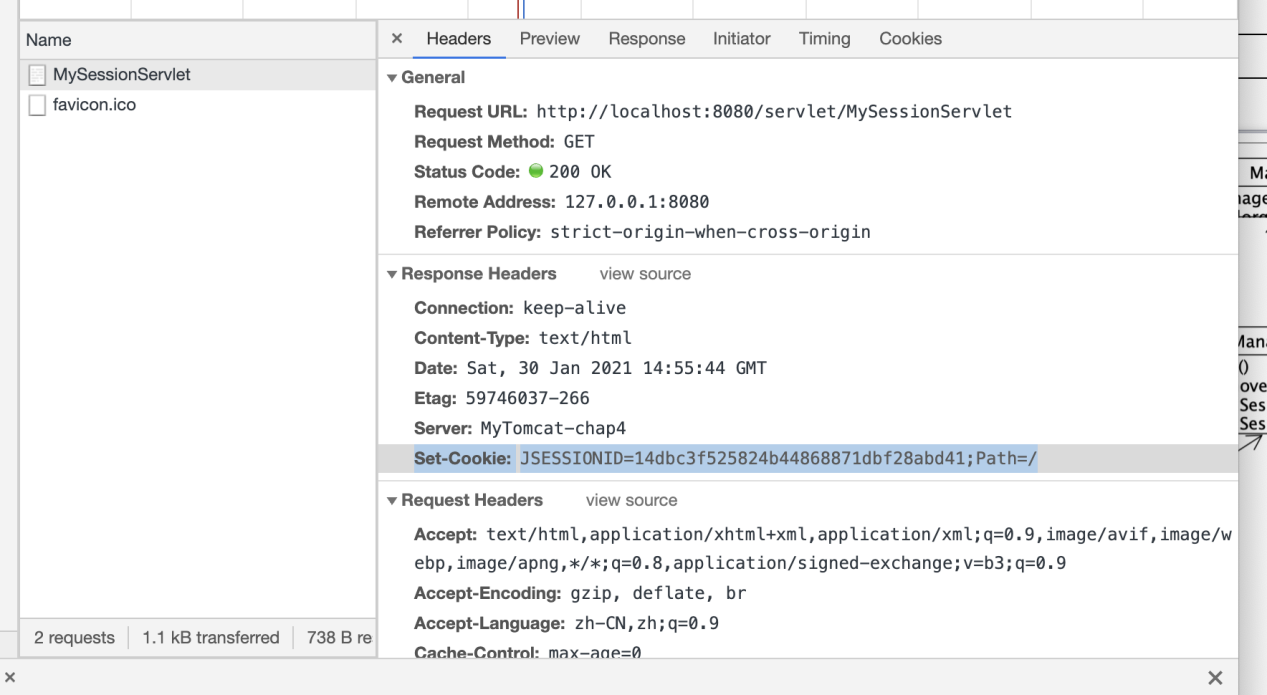
具体代码参考：

|  |
| --- |
| HttpResponseBase.sendHeaders() |

新创建的sesssion，要以Cookie的形式返回给客户端，必须满足以下一个条件：

|  |
| --- |
| 1.Request对象中能够取到session对象  HttpServletRequest.getSession()  这个在HttpServletRequest调用Manager创建session后，就会有自带一个session对象  2.session.isNew()为true  说明这个session是新创建的。这个值在ManagerBase.createSession()中设置为true。  需要注意的是，只有在session刚创建的时候，isNew为true，客户端后续来访问的时候，这个值当然是false。否则客户端Cookie会频繁更新。  3.session.isValid()为true  说明这个session未过期失效。  这个值在ManagerBase.createSession()中设置为true。  需要注意的是，这个只是设置为初始值true，后续Manager会定期管理session，一旦发现session超时，或者session非法，就会设置为false;  4.getContext().getCookies()为true  就是StandardContext.getCookies()为true |

最终客户端浏览器保留的Session信息的效果是这样的：



### 5.后续客户端访问tomcat 无需再次登录

具体代码参考

|  |
| --- |
| MySessionPlainServlet.doGet() |

如果之前已经登录过的话，这个Servlet就能获取到登录信息。

一般来说，判断客户端Servlet请求的Session会话是否合法不会放在Servlet中，一般会放到Filter中统一判断。

那么，tomcat如何判断客户端是第一次访问创建session，还是之前已经创建了session呢？这里需要特别说明，在tomcat接收到客户端http请求，执行servlet之前，就会统一判断当前客户端的会话信息。如果之前有登录过，就调用一下session.access()信息，将session.isNew()设置为false。具体参考：

|  |
| --- |
| 1.SimpleContextValve.invoke()  备注：后续好像会把这块逻辑迁移到StandardHostValve.invoke()中  2.StandardSession.access() |

### 6.Manager定期把过期的Session踢掉

Manager处理过期session的流程是这样的：

1. 记录lastAccessTime

每次客户端访问tomcat服务端servlet的时候，tomcat端都会记录这个客户端对应的session的lastAccessTime

代码参考：

|  |
| --- |
| SimpleContextValve.invoke()  StandardSession.access() |

1. Manager异步线程检测超时session

StandardManager启动的时候，会启动一个异步线程。异步线程会定期检测这个Manager管理的session，如果发现有session的lastAccessTime和现在的时间差距过大(maxInactiveInterval)，就将这个session设置为expire。

代码参考：

|  |
| --- |
| StandardManager.run()  StandardManager.processExpires() |

备注：maxInactiveInterval目前定义在:

|  |
| --- |
| Constants.MAX\_INACTIVE\_INTERVAL |

后续建议放到配置文件。

(3)Session回收

一旦某个session被设置为expire超时，就回收这个session。回收逻辑为：先将当前session对象的各个属性设置为初始值，再将当前session从Manager中remove掉，最后再放到Manager的回收队列中，供后续创建新session重复利用。

代码参考：

|  |
| --- |
| StandardSession.expire()  StandardSession.recycle()  ManagerBase.recycle() |

备注：Session回收的策略非常不错，提升了创建新session的效率，也减轻了JVM垃圾回收的压力。以后碰到类似的场景，可以参考tomcat对于session对象的处理方式。

### 7.Manager定期把内存中过多的Session持久化

具体代码参考：

## tomcat创建session的整体调用链路

我们单独用一个小节，说明一下session的调用链路

首先我们先说明一下session在servlet中是如何使用的：

servlet开发人员在servlet中调用session一般是这样的(具体参考MySessionServlet.java)：

|  |
| --- |
| protected void doGet(HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp)  {  Session session = (Session) req.getSession();  String sid = session.getId();  ......  } |

可以看到，是通过HttpServletRequest调用的。

那么在HttpServletRequest中是如何取到session对象的呢？

这就要转到：HttpRequestBase.java

|  |
| --- |
| getSession()->doGetSession() |

备注：如何从HttpServletRequest 转到HttpRequestBase，请参考chap4\_request相关的内容，这里不展开了。

我们在看HttpRequestBase.doGetSession()方法相关的代码：

|  |
| --- |
| if (context != null)     manager = context.getManager();  .......  session = manager.createSession();  if (session != null)      return (session.getSession());  ...... |

备注：context的manager对象哪里来呢？当然是在bootstrap中指定对应的manager实现类啦

可以很清楚看到，在这里，由context获取Session Manager类

然后由Session Manager获取具体的session对象。

这样，整个session创建的链路就非常清晰了：

1. servlet开发人员在servlet类中，通过HttpServletRequest 接口使用session对象；
2. HttpServletRequest接口的实现类(HttpRequestBase)，通过context获取Manager
3. 由Manager创建session对象。

具体的代码可以参考：

|  |
| --- |
| /Users/zhoushuo/Documents/workspace/SimpleTomcat/simpletomcat-chap9/UML/Session\_create.uxf |

## Session

session接口主要是保存session相关的信息。最关键的方法为expire()，包含了session超时的逻辑。

整体结构如下：

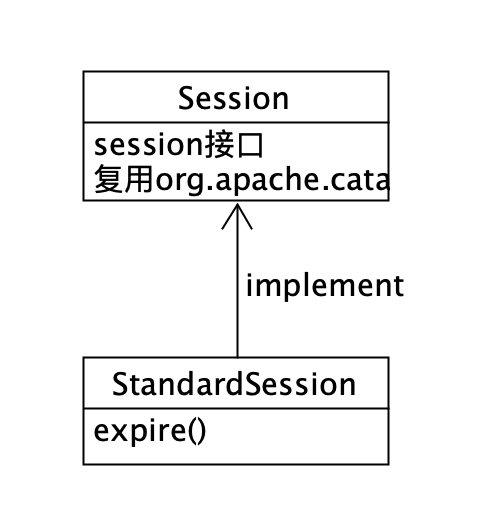


图1 session架构

## Manager

Managger主要是用于管理Session实例。

Manager整体架构如下：

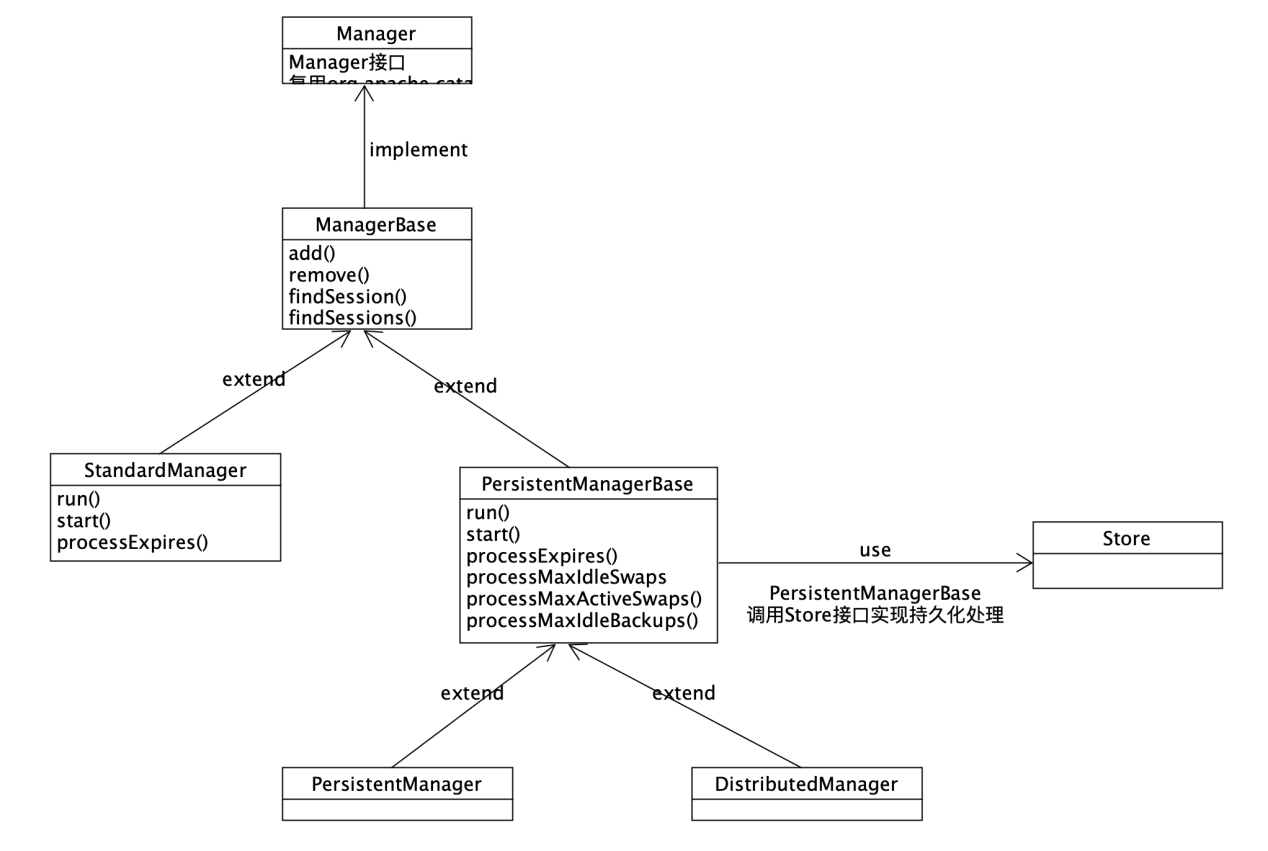


图2 Manager架构

### ManagerBase

ManagerBase.java是所有Manager实现类的基类，包含重要的方法为：

add()

remove()

findSession()

findSessions()

createSession()

### StandardManager

StandardManager.java是Manger接口的一种标准实现。最重要的方法包括：

run()

start()

processExpires()

StandardManager主要做两个事情：

1. run()的意思是StandardManager会启动一个异步线程，调用processExpires()方法，定期检测过期的session；
2. start()的意思是StandardManager会实现LifeCycle接口，在StandardManager对象启动的时候，自动从本地会从tomcat本地目录下读取一个文件：SESSIONS.ser。这个文件保存了持久化在tomcat本地目录下的session信息。然后StandardManager会把这些持久化的session信息加载到内存；

那么，StandardManger是怎么启动的呢？具体可以参考：

|  |
| --- |
| StandardContext.start() |

也就是说，StandardManger是在Context中启动的。当然，也可以在BootStrap中创建StandardManger的时候启动，但是BootStrap中的代码太冗余了。

### PersistentManagerBase

PersistentManagerBase和StandardManager差不多，也会启动异步线程定期检测过期的session对象。

|  |
| --- |
| run()  start()  processExpires() |

不同的是，正如名称显示的那样，PersistentManagerBase会对session对象进行持久化处理。对session对象实现持久化管理是啥意思呢？就是内存中的session对象空闲了很久，或者活跃的session对象太多达到了MaxActive的配置数量。那么PersistentManagerBase会把这些session对象 **swap out**到持久层(文件系统或者数据库)。保证内存中的session不会过多，影响tomcat JVM的性能。后续要用到session的时候，再通过**swap in**，从持久层加载到内存供servlet使用。

PersistentManagerBase涉及持久化的方法包括：

|  |
| --- |
| processMaxIdleSwaps  processMaxActiveSwaps()  processMaxIdleBackups() |

这个三个方法分别代表：

1. 一旦某个线程空闲时间过长，就Swap out to persistent；
2. 一旦PersistentManagerBase管理的活跃session数超过了某个阈值，就Swap out to persistent；
3. 一旦PersistentManagerBase管理的空闲session数超过了某个阈值，就备份到persistent。这样就算服务器宕机，后续重启的时候还能重新加载到内存中。

### PersistentManager

这个是标准的持久化Manager，就是一个名字而已，大部分实现方法都是继承自

PersistentManagerBase。

### DistributedManager

这个manager虽然也是继承自PersistentManagerBase，但是新增了分布式功能。意思就是在创建session对象之后，能够将session对象同步到整个tomcat集群各个节点上。

这里罗列了实现分布式session用到的几个类：

|  |
| --- |
| Cluster.java // Cluster接口  ClusterMemberInfo.java // 集群节点信息  ClusterSessionBase.java // 没啥用  MulticastReceiver.java // 组播接收类  MulticastSender.java // 组播发送类  StandardCluster.java // 标准Cluster实现  DistributedManager.java // 加入分布式session相关逻辑  StandardSession.javaf // 实现Serailizable接口，用于持久化 |

这几个类之间的关系，参考我们的UML图：《Cluster》

## Store

接下来，我们介绍一下Store的体系，Store的代码架构如下：

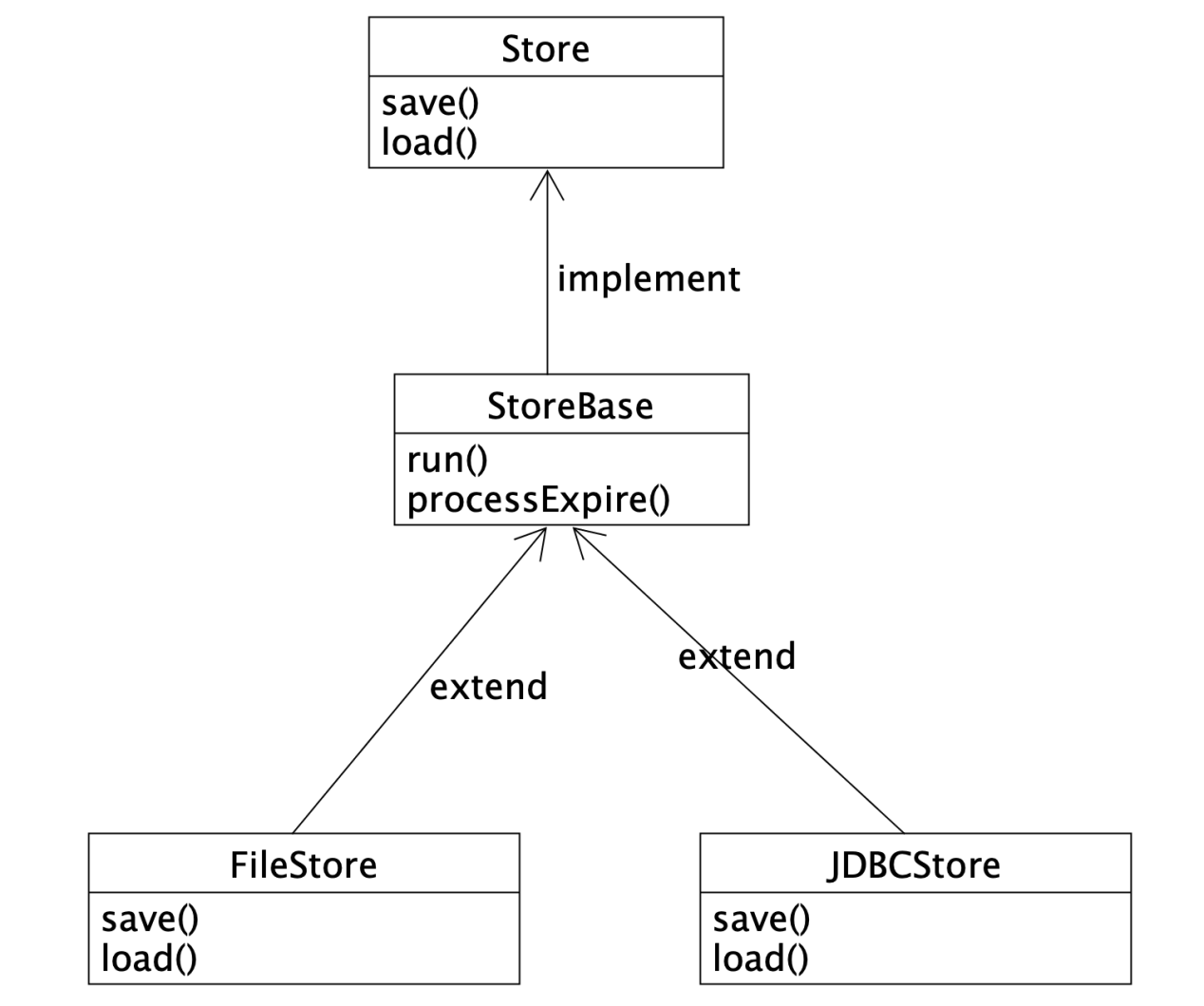


图3 Store架构

其中，Store.java是Store相关类的接口，定义了Store的各个规范。其中最重要的两个接口方法是save()/load()。

StoreBase是各个Store相关实现类的基类。主要做的事情，就是启动一个异步线程，定期检测由Store管理的持久化层中的session列表，将过期的session踢掉。防止持久化层中的session越来越多。这个清理过期session的逻辑，和之前在StandardManager中实现的类似。

对于这个Store体系，我们要搞清楚，Store是在哪里创建的？Store是在哪里启动的？

1. Store是在哪里创建的

我们可以在tomcat启动的时候，指定Manager对应的Store(参考BootStrap.java)，也可以在其他组件中初始化Manager的时候，指定对应的Store(参考StandardContext.start())。

1. Store是在哪里启动的

Store是在PersistentManagerBase启动的时候启动的，具体代码可以参考PersistentManagerBase.start()。

那么PersistentManagerBase又是在哪里启动的呢？是在StantdardContext.start()中启动的。

### StoreBase

继承Store接口，但是并不实现load()/save()方法。

StoreBase主要实现的方法为：：

run()

processExpire()

启动一个单独的线程，检测过期的session

### FileStore

FileStore和JDBCStore这两个具体的Store接口实现类，都继承了StoreBase。其中最关键的方法为：

save()

load()

remove()

keys()

其中FileStore将session对象持久化到文件系统，按照sessionid.session的格式存储。

JDBCStore将session持久化到数据库。

### JDBCStore

## 本章目标

代码梳理完了，session的大致实现思路也调研完毕。无非就是在启动BootStrap.java中选择一个Manager/Store的具体实现类，实现servlet的session功能。

本章最终要实现的目标，要达到的功能为：

1. servlet类能够能够存取session(完善ManagerBase)
2. 能够定期将过期的session回收(完善StandardManager)
3. 能够将session对象持久化到磁盘、数据库(完善PersistentManagerBase)
4. 能够实现将session对象持久化到tomcat集群(完善DistributedManager)
5. 能够实现将session对象持久化到redis(新增处理类：RedisStore)

## 问题记录

在实践过程中，还是碰到了各种各样的问题。在这里总结一下。

### 问题1 Null Pointer

**问题描述**

我们调试servlet的时候，发现第一次访问servlet没问题，但是第二次开始就会报错：

|  |
| --- |
| java.lang.NullPointerException  at MySessionServlet.doGet(MySessionServlet.java:58)  at javax.servlet.http.HttpServlet.service(HttpServlet.java:740)  at javax.servlet.http.HttpServlet.service(HttpServlet.java:853)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimpleWrapperValve.invoke(SimpleWrapperValve.java:77)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimplePipeline$SimplePipelineValveContext.invokeNext(SimplePipeline.java:137)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimplePipeline.invoke(SimplePipeline.java:78)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimpleWrapper.invoke(SimpleWrapper.java:201)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimpleContextValve.invoke(SimpleContextValve.java:69)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimplePipeline$SimplePipelineValveContext.invokeNext(SimplePipeline.java:137)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.SimplePipeline.invoke(SimplePipeline.java:78)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.core.StandardContext.invoke(StandardContext.java:77)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.connector.HttpProcessor.process(HttpProcessor.java:292)  at com.nbcb.mytomcat.catalina.connector.HttpProcessor.run(HttpProcessor.java:191)  at java.lang.Thread.run(Thread.java:745) |

**问题原因**

问题原因是Servlet(MySessionServlet)中，通过Request(HttpRequestBase)获取session对象的时候，Request会需要通过Context获取Manager，并最终通过Manager创建session对象。但是我们通过定位跟踪发现，Request获取到的Context对象竟然是空的。这是怎么回事呢？

我们调研一下Request对象实例中的Context对象是什么时候设置的。

Request对象第一次设置Context，是在HttpProcessor创建的时候，参考：

|  |
| --- |
| 1.HttpProcessor.HttpProcessor() // constructor  this.request = (HttpRequestImpl) connector.createRequest();  2.HttpConnector.createRequest()  request.setContext((Context) this.container); |

但是，HttpProcessor处理完客户端第一次http servlet请求之后，就回收了request对象：

|  |
| --- |
| 1.HttpProcessor.process()  request.recycle();  2.HttpRequestBase.recycle()  super.recycle()  3.RequestBase.recycle()  context = null; |

这就导致，我们第二次访问servlet的时候，Request对象中的context对象为空。

**解决方案**

我们参考官方是怎么做的。我们通过查看RequestBase.setContext()方法，被哪些方法调用，来定位官方tomcat是怎么实现Request对象在处理每次客户端请求的时候，都有context对象。参考代码：

|  |
| --- |
| StandardHostMapper.map()  if (update) {  request.setContext(context);  } |

虽然StandardHost我们还没有涉及，但是总体的思路是清楚的，就是在Mapper端，将客户端servlet请求路径映射到实际的servlet类的时候，设置request请求。

有了这个思路，我们在现有条件下，尝试解决这个问题。参考：

|  |
| --- |
| SimpleContextMapper.map(){  request.setContext(this.context);  } |

有了这段逻辑，后续的servlet请求就不会报错了。

## 测试案例

从这一章开始，我们引入测试案例的模块。针对每个主题，都会设计对应的测试案例。比如这章，围绕Session，可以设计各种各样的测试案例。比如session create/findSession()/processExpire/persistent，等等。

自动测试框架主要是采用我们之前设计的TestUI框架。当然也可以采用Maven的测试框架。

从总体来说，要验证tomcat处理session的情况，主要是通过各类Session Manager打印异步线程处理的结果，比如：

|  |
| --- |
| 1.StandardManager 打印异步线程处理session的结果  StandardManager.printSessionStatus()  2.PersistentManagerBase 打印异步线程处理session的结果  PersistentManagerBase.printSessionStatus()  3.StoreBase 异步线程处理持久化层中session的结果  StoreBase.printStoreBaseSessionStatus() |

要打印这些session结果，要理清各种session保持的参数：

|  |
| --- |
| 这些参数主要保存在：  Constants.java  关键的参数包括：  MAX\_INACTIVE\_INTERVAL  MIN\_IDLE\_SWAP  MAX\_IDLE\_SWAP  MAX\_ACTIVE\_SESSIONS  MAX\_IDLE\_BACKUP  只有把这些参数调整好了，才能够有可能检测到session的状态。  为了保证测试到各个session处理的功能，我们将这些参数调整为：   1. **MAX\_INACTIVE\_INTERVAL**   session最长空闲时间，session一旦空闲时间超过了这个值，就设置为expire。如果session在内存中，就由Manager处理；如果session在内存中，由StoreBase处理。  在PersistentManagerBase处理逻辑中，如果这个值设置得比MAX\_IDLE\_SWAP大。那么，在Manager处理expire前，这个session必然已经被持久化了。那么应该是由StoreBase来处理expire。所以在PersistentManagerBase中，procssExpires()这个方法一般来说是没啥用了。  目前设置为**60s**   1. **MIN\_IDLE\_SWAP**   session至少空闲多少时间，session空闲时间至少要达到这个值，才能被Manager持久化。这个参数和MAX\_ACTIVE\_SESSIONS搭配使用.  由PersistentManagerBase.processMaxActiveSwaps()处理，对于那些达到一定空闲时间，且数量超过MAX\_ACTIVE\_SESSIONS的session，放到持久化层中去。  设置为10s   1. **MAX\_IDLE\_SWAP**   session空闲时间超过这个数值，就被放到持久化  设置为30   1. **MAX\_ACTIVE\_SESSIONS**   内存中最多保留多少session，一旦超过这个数值，就被Manager放到持久化层  设置为50   1. **MAX\_IDLE\_BACKUP**   内存中的session一旦超过这个数值，就备份到持久化  设置为20 |

## 压力测试

对于Session这块功能来说，显然是要做压力测试的。因为我们知道，将session信息保存在tomcat服务端的做法，显然对服务端的压力是很大的，一旦客户端过多，会占用服务端过多的(内存)资源。

本章大部分的内容，包括PersistentManager、Store，都是关于如何保证在高并发、集群的模式下tomcat服务端状态正常的。

如何做压力测试呢？当然是模拟有很多客户端登录tomcat服务器，在服务端保存了很多很多的session对象信息。

大量的session占用了内存资源，我们如何来估算session占用多少内存呢？我们可以看一下StandardSession对象中有多少属性就能大致知道一个Session对象占用多少资源了。Session对象包括sid/createTime/updateTime/attribute等等。

## 分布式Session(UDP)

我们知道，分布式session是Tomcat提供的一项功能。这项功能可以实现将某个节点的session信息同步到集群中各个节点。但是这个功能实用性却不强。tomcat官方非常明确说明，不建议在大规模集群中使用这个功能(集群节点数大于4)。现在实际生产环境也没有这么用的。

要实现分布式集群，有很多替代方案：

1. 通过F5负载均衡策略，根据会话进行负载均衡；
2. 将会话存放到持久化层(DB/Redis) ;
3. 通过Nginx按照会话实现负载均衡;

|  |
| --- |
| upstream backend {     hash        $cookie\_jsessionid; } |

但是，我们还是在这里认真实现一下分布式session功能。理由如下：

1. 能够借助这个功能了解UDP编程；
2. 借助这个功能，了解集群的实现原理。比如集群中各个节点通信的原理、节点状态同步原理等等；
3. 为我们后续实现分布式对象存储做技术储备；

通过这次学习，我们要达到的目标为：

1. UDP编程实践；(done)
2. 实现tomcat集群，分布式session功能；
3. 提炼出分布式集群间通信的一套方法；

### UDP编程基础

具体实现原理其实就是UDP组播通信原理：

A端创建一个MulticastSocket对象，监听组播地址的某个端口，接收来自这个组播地址的数据包(DatagramPacket)。

B端也是创建一个MulticastSocket对象，往某个组播地址的特定端口，发送数据包(DatagramPacket)。

具体参考：

|  |
| --- |
| https://github.com/zhoushuo19850509/javanetworking.git  chap14MulticastSockets/  MulticastSender.java  MulticastSniffer.java |

这两个代码文件虽然比较基础，但这是实现分布式session的基石。

### 分布式session整体实现思路

具体架构参考：simpletomcat-chap9/UML/Cluster.uxf

### 分布式session具体实现类

这里罗列了实现分布式session用到的几个类：

|  |
| --- |
| Cluster.java // Cluster接口  ClusterMemberInfo.java // 集群节点信息  ClusterSessionBase.java // 没啥用  MulticastReceiver.java // 组播接收类  MulticastSender.java // 组播发送类  StandardCluster.java // 标准Cluster实现  DistributedManager.java // 加入分布式session相关逻辑  StandardSession.javaf // 实现Serailizable接口，用于持久化 |

这几个类之间的关系，参考我们的UML图。

我们看一下分布式session具体实现类，

### 整体测试方案

从总体来看，分布式session测试比较麻烦。主要原因是cluster架构，要实现测试目标，需要多个节点配合。

那么，我们就先从最基础的功能开始测试。

**Step1**

验证UDP协议(完成)

具体代码参考：

|  |
| --- |
| Github javanetworking  chap14MulticastSockets/  MulticastSender.java  MulticastSniffer.java |

**Step2**

验证MulticastSender/MulticastReceiver交互方式。

具体可以参考我们专门的测试类：

|  |
| --- |
| Package:  test.cluster  --验证集群节点信息的收发  ClusterInfoSender  ClusterInfoReceiver  --验证Session信息的收发  SessionInfoSender  SessionInfoReceiver |

**Step3**

然后再验证Cluster在tomcat中实际的应用场景；

验证涉及的类有：

1. StandardCluster.java

主要验证StandardCluster.start()中，创建ClusterMemberInfo对象之后，发送给集群其他节点的场景。

1. DistributedManager.java

主要验证DistributedManager.createSession()把本节点创建的session信息同步给集群；DistributedManager.processClusterReceiver()接收来自集群其他节点的session信息;

**Step4**

验证集群功能，具体参考”分布式session集群功能验证”

从Step1-Step4这个测试的思路，是从底层原理，到整体功能，是从下到上的。当然，我们也经历了从整体到细节的代码解读，这是从上到下的。

像这种思路，其实是阅读源码的一种方法论。即从整体架构-关键代码-整体架构的螺旋上升结构。

### 分布式session集群功能验证

1. **搭建集群**

通过虚拟机节点，搭建tomcat服务集群，通过nginx负载均衡，对外提供java容器服务；

Node1 playground(192.168.0.176)

Node2 playground2(192.168.0.177)

Node3 playground3(192.168.0.166)

Nginx()

1. **验证集群节点信息同步功能**

具体参考：

《9003\_验证分布式集群同步节点的功能.docx》

验证步骤：

1. 在各个节点部署tomcat
2. 启动tomcat： java -jar tomcat.jar
3. 访问tomcat基本servlet功能
4. 通过日志打印当前集群中各个节点的信息

具体代码为：

|  |
| --- |
| StandardCluster.run() ->  StandardCluster.printClusterMembersInfo() |

1. **验证集群session同步功能**

详细参考《9004\_验证分布式集群同步Session的功能.docx》

验证步骤为：

(1)

(2)

### 新一代的Cluster机制

我们查阅新版本的tomcat的cluster机制，实现原理和当前版本有很大不一样。具体文档可以参考apache tomcat官网。

1. 节点信息还是通过UDP广播给集群。此外还会有心跳机制，检测节点是否存活。
2. session信息同步通过TCP，而不是UDP。这样能够保证连接的可靠性、消息传递的可靠性；
3. 分布式锁不支持。也就是说，各个节点的session信息不是同步的。session状态有可能在并发场景下被覆盖。

虽然引入了TCP连接同步session信息，那也是问题重重。因为如果有N个节点的话，就会有N \* N的TCP连接。随着集群规模的上升，TCP连接的资源占用不可小视。

其实分布式session最本质的问题还是在于，session是有状态的，session信息会随着客户端的登录动作，实时进行更新，而且读写较为频繁。因此，采用tomcat本身的分布式session架构并无优势。还是建议将分布式session功能剥离出来，由更为专业的组件去实现。

### 存在的问题

**问题1 组播地址不够稳定**

在实际测试中发现组播地址不太稳定，组播地址就是我们在Bootstrap中设置的：

|  |
| --- |
| all-systems.mcast.net |

我们发现有时候这个地址根本ping不通。这说明在不同网络条件下，局域网的组播地址可能不稳定，这个域名没法代表所有条件下的组播地址。

|  |
| --- |
| Start MulticastSniffer  java.net.SocketException: Can't assign requested address  at java.net.PlainDatagramSocketImpl.join(Native Method)  at java.net.AbstractPlainDatagramSocketImpl.join(AbstractPlainDatagramSocketImpl.java:179)  at java.net.MulticastSocket.joinGroup(MulticastSocket.java:323)  at com.nbcb.networking.chap14MulticastSockets.MulticastSniffer.main(MulticastSniffer.java:40) |

有的时候，我们网络连接选择手机热点，发现虽然这个组播域名地址可以ping通，但是没法根据这个地址创建MulticastSocket。

虽然我们查询组播地址，是有这个地址的：

|  |
| --- |
| netstat -gan |

我们参考tomcat官网，在cluster功能，也已经替换成了TCP实现。在文档中说得非常清楚:

|  |
| --- |
| The reason I chose TCP sockets is because it has built in flow control and guaranteed delivery. So I know, when I send some data, it will make it there :) |

我采用TCP方式的理由，是因为TCP有流量控制的功能，能够消息送达到对方。一旦我通过TCP发送了消息，我知道这个消息一定能够发送成功。

为此，我们可能需要还是需要采用TCP方式，而不是UDP方式，在集群内部进行通讯。

## 思考

我们在这章中讨论了tomcat标准的session处理方式。但是要紧跟时代步伐，实践一下通过redis缓存处理session的方式。

## Tips

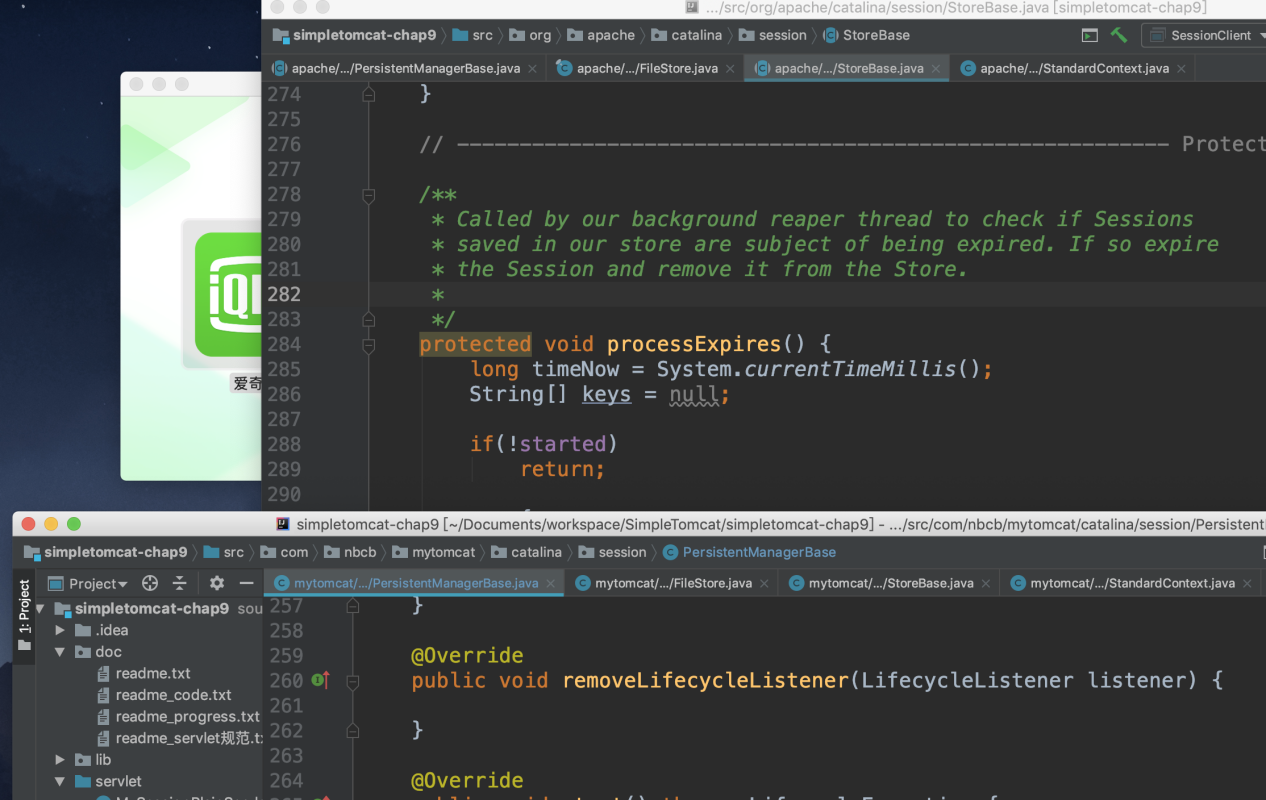
本章有哪些温馨提示呢？

### 1.尽量不要修改org.apache定义的接口

比如把某个接口方法的返回参数从Array改为List，这可能需要改动好多好多实现类的代码，得不偿失；

### 2.单独窗口

为了更好地参考org.apache官方实现，比如我们比对org.apache.catalina.session.StandardSession和我们自己实现的StandardSession的代码，就可以把官方的代码拉出来形成单独的一个窗口：



## 后续待实现

1.Cluster session实现方案UDP->TCP

对于UDP方案，也是一言难尽，在分布式集群中，应该实用性并不强。后续我们建议把UDP方式改为TCP。既能够提升cluster session的实用性，也能够实践一下分布式集群的通讯方式。

2.Cluster session UDP方案还没有测试过

这块内容涉及分布式测试，所以没有时间测试了，后续再回头测。

相关测试文档：

|  |
| --- |
| /Users/zhoushuo/Documents/workspace/TomcatWin/doc/测试案例/9003\_验证分布式集群同步节点的功能.docx |

## 总结

# Chap10 Security

这章主要介绍安全相关的内容。

|  |
| --- |
| 官方实现：  Realm.java // the interface to authenticate the user  Principal.java // the interface to  Generic Principal.java // the implementation fo Principal interface |

|  |
| --- |
| 自己实现：  SimpleContextConfig.java  SimpleRealm.java  SimpleUserDatabaseRealm.java |

书本概念

我们先根据书本的概念，说明一下tomcat security是如何运作的

## 代码说明

## 本章目标

## 总结

# Chap11 StandardWrapper

之前我们介绍了Container/Context/Wrapper，其中Container接口代表了Java容器，Context和Wrapper这两个接口都继承了这个接口。

其中Context代表web application，Wrapper代表servlet定义。Context可以包含多个Wrapper。

这章我们仔细讲讲Wrapper接口的实现。这个实现就是StandardWrapper。这个实现类当然需要有一些处理servlet的方法，比如加载servlet，获取ServletContext()，获取ServletConfig信息等。

|  |
| --- |
| 官方实现：  StandardWrapper.java // Wrapper接口的一个实现类  StandardWrapperValve.java // Valve接口的一个实现类，用于StandardWrapper中处理当前servlet中filter的各个事情  ApplicationFileterConfig.java // 实现了servlet FilterConfig接口，管理Filter实例  ApplicationFileterChain.java // 实现了servlet FilterChain接口，执行Filter实例 |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap12 StandardContext

Context代表web application:应用。Context可以包含多个Wrapper。这章介绍Context接口的一个实现:StandardContext。

一般来说，StandardContext还支持reload功能，就是一旦web.xml或者WEB-INF下的class有改变，会自动把这些改变加载进来。

|  |
| --- |
| 官方实现：  StandardContext.java // an implementation of Context interface  ContainerBase.java // StandardContext.java的基类  ContainerBackgroundProcessor.java // 这个类是ContainerBase类的一个内部类，主要处理一些异步进程(比如定期检测class是否有更新/web.xml是否有更新等)。 |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap13 Host and Engine

Host是这样的，如果你要在Tomcat上部署多个应用(Context)，就会用到host。

Engine是代表整个tomcat Catalinna的servlet引擎，是顶层Container。

总而言之，这些Container从顶层往下的关系为：

Engine->Host->Context->Wrapper

|  |
| --- |
| 官方实现：  Host.java // the interface extends from Container.java  StandardHost.java // the implementation of Host interface  StandardHostValve.java // the default valve of StandardHost  Engine.java // the interface  StandardEngine.java // the implementation of Engine interface |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap14 Server and Service

Server代表了整个tomcat servlet 容器。也就是tomcat进程(默认端口为8080).我们可以通过Server start来启动tomcat下所有的container components。也可以通过Server stop把这些container关闭。

Server包含Service，通过Service管理像Container/connector这类的组件。

|  |
| --- |
| 官方实现：  Server.java // interface  StandardServer.java // the implementation of Server.java  Service.java  StandardService.java |
|  |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap15 Digester

Digester是一个apache commons组件。这个组件主要是处理XML文件的。

那么Digester在tomcat中的作用是什么呢？

我们看看ContextConfig.java文件。里面有两个Digest对象：

1. contextDigester
2. webDigester

其中webDigester用来处理web.xml。

contextDigester可能是用来处理其他配置文件。当然，我们知道Tomcat还有很多配置文件，比如config目录下有很多，server.xml。

|  |
| --- |
| 官方实现：  ContextConfig.java // Context的配置i |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap16 Shutdown Hook

主要介绍如何优雅地关闭Tomcat。

|  |
| --- |
| 官方实现：  CatalinaShutdownHook.java // 定义在Catalina.java中的一个类 |

|  |
| --- |
| 自己实现：  ShutdownHookDemo.java //  ShutdownHook.java //  MySwingApp.java //  MySwingAppWithShutdownHook.java // |

# Chap17 Tomcat Startup

这章介绍Tomcat如何启动。涉及的类包括：Catalina.java/BootStrap.java

此外，还介绍了Tomcat在Windows/Unix系统下的启动脚本。我们只要了解Tomcat在Unix下的启动脚本就行了。为了让读者更好地理解启动脚本，居然还讲解了shell的一些基本用法，可以说也是很贴心了。

Tomcat启动脚本在tomcat/bin/start.sh，但是真正的启动脚本是catalina.sh

Tomcat停止脚本为shutdown.sh。

后续我如果要实现自己的Tomcat，也可以模仿这个，创建启停脚本。

|  |
| --- |
| 官方实现：  Catalina.java // 启动的方法主要是start()/stop()  BootStrap.java  start.sh  shutdown.sh |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap18 Deployer

这章介绍Tomcat如何部署应用(主要是如何部署war包)。

但是奇怪的是，PDF中介绍的接口和实现类在tomcat5中一个也没有找到。我们尝试下载Tomcat4试试。

|  |
| --- |
| 官方实现： |

|  |
| --- |
| 自己实现： |

# Chap19 Manager Servlet

# Chap20 JMX-Based Management