

本科生毕业论文（设计）



题 目 **基于Netty的高性能RPC服务器设计与实现**

学 院  **软件学院**

专 业  **软件工程 080902**

学生姓名  **邹 绿 州**

学 号  **2014141463318** 年级 **2014**

指导教师  **左航**

教务处制表

二Ο一七年十二月十五日

**基于Netty的高性能RPC服务器设计与实现**

软件工程

学生 邹绿洲 指导老师 左航

**[摘要]** RPC ,是英文Remote Procedure Call的缩写，翻译为中文叫做远程过程调用。

在现在高速发展的互联网企业中，一个项目是由很多模块（Module）组成的，一个模块可能是由多个服务 (Service)组成的，而每个服务又可能就是一个团队维护的项目，项目之间会有各种各样的联系，比如彼此调用对方的接口，向对方服务发起请求或者对其他服务产生响应等等。要完成诸如此类的功能，就可以使用远程过程调用。

本项目基于目前使用广泛的NIO框架Netty设计和实现的RPC服务器，使用TCP协议进行通信。数据的网络传输方面，使用的是开源序列化协议Protobuf,Hessian以及Java语言本身提供的原生序列化机制进行序列化和反序列化。根据应用的不同的使用场景，选择不同的序列化机制可提供更加丰富的功能，以及更大的可扩展性。

本项目与其他的RPC框架相比，因为采用了Netty提供网络传输，而Netty作为一个异步网络编程框架，使用的是著名的Reactor多线程并发模型，改变了传统的直接使用NIO（Non-blocking IO）进行编程的复杂性，也能够很好的提升了RPC的整体性能。

**[主题词]** 远程过程调用; Netty；序列化

**RPC Framework Based on Netty**

Software Engineering

Student： Zou Lvzhou Adviser: Zuo Hang

**[Abstract]** In today's era, the Internet has become a necessary tool for our production and life, and electronic voting has gradually begun to replace traditional paper voting.Electronic voting has the advantages of being electronic and networked, low-cost, fast and convenient, highly anonymized, and can play a wide role in ensuring democracy.The urgent need to address the issues of the election and the middle of the vote illustrates the growing need for a secure, just electronic ballot system.

This paper designs and implements a safe and efficient electronic voting system in B/S mode.

In combination with the basic principle of electronic voting, associated ring signature technology was adopted to realize the anonymous registration, blind signature blind to make use of the vote and introducing identity sequence code to ensure uniqueness, the method of designing a fraud against a third party security electronic voting systems. The system not only realizes the voting agreement should have the basic safety requirements, and have vote collision resistance, can be in any stage abstained, do not rely on any trusted third party and anonymous communication channel function.

Compared with the traditional electronic voting system, the system avoids the interference of the artificial factor in the final voting. And through the computer statistics, can significantly improve the speed of statistics, the result of the ballot so that they can greatly save manpower and time, which makes the results of each electronic voting more fair and open, generally by voters believe.

The work developed by this project won the third prize in the 2017 national college students information security competition.

**[Key Words]** RPC; Netty;Serialization

目 录

[1 绪论 1](#_Toc502054735)

[1.1 项目背景 1](#_Toc502054736)

[1.2 国内外研究现状 3](#_Toc502054737)

[1.2.1 RPC研究现状 3](#_Toc502054738)

[1.2.2 Netty研究现状 4](#_Toc502054739)

[1.3 项目主要工作 4](#_Toc502054740)

[1.3.1 项目概述 4](#_Toc502054741)

[1.3.2 功能描述 5](#_Toc502054742)

[1.3.3 创新点及特色 5](#_Toc502054743)

[1.4 报告组织与结构 7](#_Toc502054744)

[2 项目涉及的相关知识和技术简介 8](#_Toc502054745)

[2.1序列化相关技术和理论 8](#_Toc502054746)

[2.2异步网络通讯框架Netty相关技术和理论 11](#_Toc502054747)

[2.3一站式处理框架Spring相关技术理论 12](#_Toc502054748)

[2.4 其他相关技术和理论 13](#_Toc502054749)

[2.4.1 Java的反射理论 13](#_Toc502054750)

[2.4.2 Gradle介绍 13](#_Toc502054751)

[2.5本章小结 16](#_Toc502054752)

[3 项目工作和进展情况 17](#_Toc502054753)

[3.1项目的概况 17](#_Toc502054754)

[3.2项目的开发内容和结果 17](#_Toc502054755)

[3.2.1 项目架构设计 17](#_Toc502054756)

[3.2.2 系统概要设计 19](#_Toc502054757)

[3.2.3 系统详细实现 24](#_Toc502054758)

[3.3项目开发计划及阶段性完成情况 31](#_Toc502054759)

[3.3.1 项目开发计划 31](#_Toc502054760)

[3.3.2 项目完成情况 32](#_Toc502054761)

[3.4本章小结 39](#_Toc502054762)

[4 讨论与体会 40](#_Toc502054763)

[4.1对项目开发过程的体会 40](#_Toc502054764)

[4.2对项目的评价 40](#_Toc502054765)

[4.3本章小结 41](#_Toc502054766)

[5 小结 42](#_Toc502054767)

[参考资料 43](#_Toc502054768)

声 明 [45](#_Toc502054769)

[致 谢 46](#_Toc502054770)

[附录1 任务申请书 47](#_Toc502054771)

[附录2 可行性研究报告 48](#_Toc502054772)

[附录3 项目开发计划 49](#_Toc502054775)

[附录4 数据要求说明书 51](#_Toc502054778)

[附录5 需求规格说明书 54](#_Toc502054782)

[附录6 用户手册概要 57](#_Toc502054787)

[附录7 概要设计说明书 68](#_Toc502054792)

[附录8 数据库设计说明书 74](#_Toc502054795)

[附录9 组装测试计划 79](#_Toc502054799)

[附录10 详细设计说明书 104](#_Toc502054802)

[附录11 模块开发说明 122](#_Toc502054805)

[附录12 单元测试 147](#_Toc502054808)

# 绪论

现在的互联网企业的产品往往都是体量非常巨大的，这些产品都是有若干个子项目一起组成。这些子项目往往由各个团队不同的开发人员进行合作开发，这些子项目又提供各种各样的服务。各个服务提供有不同的功能，处于系统的不同位置，有的偏向于底层，用的偏向于表现层。

根据软件设计架构的理论，以及出于可复用组件的考虑，往往在一个组件中提供的功能就不用再另一个组件中重复提供。也就是说，当A团队开发一个项目时，需要的功能模块或者说服务在B团队开发的项目中已经存在，那么A团队就不需要再进行重复开发，也就是我们平常说的“重复造轮子”。但是如何获得B团队项目中提供的功能呢？很早以前，我们采取的办法是直接拷贝代码到项目中，这未尝不是一种解决方案，但是这种方式会有如下问题：

问题一：直接拷贝代码可能导致项目代码量急剧增大，如果依赖的其他项目过多，将会使得项目臃肿不堪，难以维护。

问题二：由于开发依赖代码的并不是本团队成员，后期代码维护将是一个重大难题，可能因为依赖代码的不稳定导致项目的风险急剧增大。

问题三“如果依赖的服务需求发生变化，或者需要升级功能，对于拷贝的代码来说将会无能为力。

问题四：如果依赖的功能或者服务出现bug，只能由原开发人员进行修复或者需要其进行帮助修复，这往往会带来不必要的沟通成本和人力成本。

上面列出的问题只是可能出现的一部分问题，除了在这个方向上进行的思考，我们还应该从另一个方向上进行思考，即：这样的做法是否符合软件工程的要求。软件工程理论要求我们构建有效的，可维护的软件，而这样做肯定不符合可维护的要求。

而一些RPC框架的出现就可以很好的解决上述出现的问题，服务A和服务B可以通过网络传输来调用对方的函数或者数据，也更好的提高了代码的可重用性，减少了系统模块功能的复杂性。

## 项目背景

当下的互联网公司中绝大多数都已经的广泛使用各种RPC框架进行服务间的通信，是各个项目不可分割的组成部分，比如使用世界互联网科技巨头Google开源的grpc框架以及社交网络巨头Facebook开源的Thrift框架。在国内有以电子商务起家的阿里巴巴集团开源的dubbo框架最具代表性，此外还有搜索科技公司百度开源的brpc,以及新浪开源的轻量级RPC框架Motan等。

不管是国内还是国外，各大互联网公司都在大量的使用RPC框架进行项目的构建，随着技术的发展，以及互联网产品用户量和数据量的急剧提高，怎样更好的设计一套更优秀的RPC框架将会是程序开发人员和架构师们不断追求的目标。而作为开发人员，怎样更好的理解RPC的原理，怎样在实际开发工作中利用好现有的RPC框架，怎样能够让RPC框架能够发挥更好的性能，都是非常重要的问题。

根据腾讯大数据发布的《腾讯2017代码报告》显示，腾讯2017年新增代码超过5亿行，项目总数31908个。在一个大型的互联网公司中，这么多的项目肯定不是一一独立的，其中有专门针对某个业务的部门，比如我们每天使用的微信，但是微信是一个体量非常大的应用，这个应用肯定需要多个项目最支撑，如与信息安全相关的，需要专门做信息安全的团队；与数据处理和数据分析相关的，需要大数据团队；与风险控制相关的，需要风控团队；与基础架构相关的，需要基础架构团队。而其中，可能大数据项目需要依赖基础架构项目提供的基础设施服务，也可能需要风险控制项目提供的服务。

在一个互联网公司中，做中间件的团队通常是为整个集团的各个项目提供服务的，比如消息队列，分布式缓存，分布式搜索，分布式计算以及云服务等等。

这些所有的场景，归根结底都涉及到一个重要的问题，即：怎样在一个项目中调用另一个项目提供的服务？或者说，怎样在一台机器上调用另一台机器提供得函数或者方法呢？我们知道，不同的项目是运行在不同的服务器上的，也就是其拥有的内存空间是不同的，当然不能直接进行调用。这时，我们自然想到了使用网络进行传输，即使用网络传输我们需要调用的方法或者说需要的数据。而这正是RPC所要解决的重要问题。

俗话说，授人以鱼不如授人以渔，为了理解RPC的底层原理，了解其设计思想以及改进现有的RPC框架，我们完全可以自己动手开发一套RPC框架，这将是一个很有用的尝试。为了使工作更加有效和节约，本文选择几个重要的方向进行研究，避免重复造同样的轮子。

【基于Netty的RPC服务器的优势】Netty是一个异步的、事件驱动的网络应用框架，可以用来快速的构建具有可维护性的高性能的服务程序。Netty是一个NIO的客户端/服务器框架，基于易用的和可伸缩的事件模型，这就是著名的Reactor编程模型。怎样通俗的去理解Netty的作用呢？

简单的讲，在客户端和服务器的通信过程中，为了能够提高通信过程的性能，在Java语言的技术栈之下，我们通常选择的是Java语言提供的NIO框架。IO在计算机系统中意思即为输出输出，而NIO为Non-blocking IO，意为非阻塞的输入输出。

Java语言后来提供的NIO框架相比较于开始提供的IO来讲，具有很大的优势。Java IO是阻塞的，这就是说，当一个线程读取数据或者写入数据时，这个线程就会被阻塞，意味这个线程不能去完成其他任务。Java NIO使用的是非阻塞的模式，它增加了缓冲区的特性，使得线程在读取或者写入时先从缓冲区中读取或者写入数据，即使此时没有数据可用时，它也不会等待，而是可以去完成其他任务。等待缓冲区中有可以操作的数据时，再返回进行操作。

非阻塞的输入输出当然能够提供更好的性能，但是了解Java NIO编程的人就知道，NIO并不是一门容易掌握的技术，对缓冲区的操作也不是件容易的事，这就使得编程开发的难度增加。所以对于绝大多数开发人员来讲，如果能够使用更方便的NIO框架，将会极大的减轻开发负担。而Netty就是这样一个优秀的NIO框架，它是基于TCP协议进行通信的，给开发人员提供基础的编码解码方法，简单的编程模型以及更高的并发处理能力等。

【多种序列化协议进行支持】远程调用的过程，必然要涉及到数据的传输，主要是对象的传输。对于对象的传输，必然要通过网络进行传输。对象序列化的过程，就是将对象变为字节流，通过网络传输的过程；对象的反序列化，就是将传输的字节流重新变为对象的过程。从Java语言本身来讲，其提供了原生的序列化和反序列化机制，只需要实现Java语言提供的接口即可。Java原生的序列化机制从使用上来讲比较简单，不需要引入复杂的函数库，但是其也有一些不好的缺点，比如字节数会占用比较多，这样造成的后果是，在网络传输的时候，可能会消耗更多的带宽以及花费更多的时间。对于Java原生的序列化好反序列化机制存在的缺点，第三方的类库可以很好的优化这些问题。常用的第三方类库有Hessian，Kyro,Protobuf等，借助这些第三方的类库，能够帮助我们在序列化和反序列化过程中提高效率。

【】

## 国内外研究现状

### **1.2.1 RPC框架研究现状**

【Google的开源RPC框架grpc】grpc是搜索科技公司Goole开源的一个高性能的、跨语言的远程过程调用框架。grpc支持多语言的相互调用，也就是在Java代码中可以调用Python代码中的方法或者函数，这对于大公司多语言开发的团队来讲是件非常有意义的事情，不仅服务的使用者和提供者可以位于不同的机器上，它们还可以是由完全不同的语言编写的程序。grpc是基于HTTP2协议的，这直接给grpc框架带来了性能上的提升。我们知道，HTTP 2.0协议相对于HTTP 1.x提供了很多更优秀的特性，比如多路复用，简单的理解就是允许在一个连接之下发起多个请求或者响应消息，这在HTTP 1.x中是办不到的。在计算机网络系统中，连接的建立是依赖TCP协议的。连接的建立需要进行三次握手机制，连接的断开需要经过四次挥手的过程。这些过程中都可能存在网络拥塞的问题，TCP连接数越多，出现网络拥塞的概率也就越大，从而导致性能的下降。HTTP 2.0协议让所有的数据使用同样的一个TCP连接，这样就能够减少网络拥塞出现。

【Facebook的开源RPC框架Thrift】Thrift是社交网络公司Facebook开源的跨语言的远程过程调用框架。Thrift由Facebook独立研发，主要使用于公司各个项目，各个服务之间的RPC通信，支持跨语言，常用的语言诸如C++，Java，Python，PHP，Ruby等等都可以支持。Thrift使用的是一个CS（客户端/服务器）的架构，不管是客户端还是服务器，都可以使用不同的语言进行开发。在不同的语言之间，使用了一种称为IDL（Interface Description Language，接口描述语言）文件来进行关联。Thrift 的数据传输使用的是socket，发送方以约定好的格式发送数据，数据格式是需要定义在IDL文件中的。Thrift支持多种服务模型，包括单线程模型，阻塞式IO的多线程模型，非阻塞式IO的多线程模型等。

【阿里巴巴的开源RPC框架Dubbo】严格来讲，Dubbo并不只是一个RPC框架，它能够做的事情比一般的RPC框架能做的事情多的多。Dubbo是国内互联网巨头公司阿里巴巴开源的、具有非常高性能的服务框架。当然，服务的输出或者输入是通过RPC的方式来完成的，Dubbo也是支持多协议的服务框架。相比较于grpc和Thrift来讲，Dubbo提供了更多的功能，在互联网企业中得到了大量的应用，互联网公司当当就在Dubbo基础之上开发维护了Dubbox框架，使其更适合自己的业务。

### **1.2.2 Netty研究现状**

Netty是JBoss开源的、高性能的、异步的、事件驱动的网络应用框架。Netty目前是最流行的网络应用框架，基于NIO的机制提供了优秀的性能。Netty不仅应用在很多互联网公司的项目中，还应用在很多的开源框架中，作为提升性能的重要组件，下面介绍几个重要的使用Netty的项目。

【用于进行分布式计算的大数据框架Spark】Spark是著名的大数据分布式的计算框架，目前在企业级大数据开发和数据处理项目中是基本的必备组件。经常搭配Hadoop，Hive等开源项目一起使用。Spark具有优异的性能，因为它是基于内存进行计算的。我们知道，在计算机系统中，基于内存的计算要比在磁盘中进行计算速度快得多，大约在1-2个数量级以上。原因之一在于基于内存的计算减少了磁盘IO的消耗，IO是非常耗时的操作。当然，相对比磁盘来讲，内存资源还是比较珍贵的，需要合理的进行使用。另一方面，有些大数据处理项目对数据的实时性要求比较高，基于内存的数据计算也能更好的保证数据的实时性。在Spark 1.6.0版本时，Spark引入了Netty作为其进行通信的框架，将其作为Spark实现RPC通信和数据传输的主要构件。Netty的引入，使得Spark解决了大块数据的传输等问题，更好的保证了Spark的健壮性。

【实时的分布式搜索和分析引擎Elasticsearch】对于大型项目来讲，往往伴随着大用户量和大数据量，而对数据的搜索和分析又是非常常见的需求。比如在电商网站中搜索商品，在后端管理系统中搜索用户记录等等。很早以前，我们都将这些数据存放在数据库系统中，比如常用的关系型数据库系统Mysql和Oracle。但是随着数据量的急剧增大，传统的数据库系统已经远远满足不了需求。一是数据量的增大导数据存储成本的增大，二是这么多的数据对于搜索和分析来讲是个巨大的难题。因此就诞生了分布式的数据搜索和分析引擎，其中Elasticsearch是典型代表。Elasticsearch使用倒排索引的数据结构实现全文检索的功能。同样，Netty在其中同样起着数据通信和数据传输的作用，是的Elasticsearch能够保证数据搜索和分析的实时性和稳定性。

## 项目主要工作

### **1.3.1 项目概述**

本项目实现的是一个基于Netty的RPC服务器，也可以称为一个框架。通信协议选择的是TCP协议；选择Netty作为通讯框架，Netty是基于Java NIO 异步的、事件驱动的网络应用框架，解决传统NIO难于编程的问题；Netty的网络模式是著名的Reactor模式，Reractor模式的原理简单来说就是服务等待请求的不断到来，然后通过事件分发器将事件分发给处理器进行处理，最后得出结果的过程；使用多种序列化协议，包括Java原生的的序列化机制，还包括第三方的序列化框架，如Kryo，Hessian，Protobuf等等，能根据实际需要选择不同的序列化机制，增加了框架的可扩展性和可复用性，在RPC效率方面也可以得到直观的比较。

### **1.3.2 功能描述**

本系统实现了如下功能：

1. 采用基于NIO的异步网络通讯框架Netty进行客户端和服务器之间的通讯。

一个性能良好的的RPC框架，IO模型的选择至关重要。简单的来讲，IO模型可以分为 阻塞式IO和非阻塞式的IO。阻塞式的IO意味着当一个线程进行数据的读取或者写入时，不能去做其他事情，只有等待数据的读取和写入完成之后，才能继续执行。显然，阻塞式的IO会在等待数据准备的过程中浪费大量的时间，这就是其效率较低的根本原因。非阻塞式的IO意味着在数据读取和写入时，线程还能继续去完整其他事情，直到数据准备完成后，通过回调的方式，回到原来的地方继续执行。

而Netty正是对于NIO框架的再次整合，原因在于Java NIO在使用上难度比较大，要想得到比较好的效果，可能需要开发人员具有很深的编程经验和优秀的编程习惯，才能得到比较好的效果。另一方面，NIO在设计上也不是完全完美，举例来说，NIO中重要的一个概念Buffer，也即是缓冲区，在编程操作上来讲就比较麻烦，容易出错。在Netty中，它提供了类似Buffer概念的ByteBuf，使得开发人员操作字节序列更加容易。

1. 使用Java原生的序列化机制对消息进行序列化和反序列化.

Java本身提供的序列化机制，能够对消息进行序列化和反序列化。序列化时，只需要实现Java提供的序列化接口Serializable，这样就能够将对象转换为字节流，通过网络进行传输。在需要对象的时候，又可以将字节流转换为对象，这就是反序列化的过程。在序列化和反序列化过程中，不会丢失对象的信息。

使用原生的序列化机制非常方便，只需要实现一个特定的接口，开发起来比较方便。所以在本项目中，首先使用了原生的序列化机制，对消息进行序列化和反序列化。更为方便的是，Netty已经为我们集成了这样的处理器，我们只需要在程序中直接调用即可。

1. 采用第三方序列化框架如Kryo、Protobuf对消息进行序列化和反序列化，提升了性能。

Java原生的序列化机制虽然简单，但是性能却和第三方序列化框架有明显的差异。为了

提高RPC服务器的性能，增加了第三方序列化框架进行消息的序列化和反序列化。第三方的序列化框架主要在字节流大小以及传输过程进行改进。有的框架比如Hessian传输的是二进制数据，因而速度更快，与原生的序列化机制相比，具有更优异的性能。不过，使用第三方序列化框架会带来编码上难度的提高，代码量增大，考虑到RPC性能的因素，引入这些框架还是值得的。

1. 在Spring框架帮助下进行服务的初始化、服务的加载等等。

Spring是在Java开发中非常重要的容器框架，是J2EE开发中常用的一站式框架，即项目开发中的其他组件都可以通过Spring框架进进行管理。Spring提供了著名的依赖注入的思想，这是一种优秀的管理对象的方式，让对象的创建通过Spring来进行管理，开发人员从繁杂的工作中解放出来，并且带来了更加清晰的结构，开发人员可以更加专注于业务逻辑的实现，编写的代码也更加容易维护。

在本项目中，依然使用Spring提供的优秀特性，特别是依赖注入的功能。对于服务的初始化，服务的注册，服务的加载等重要过程，都通过Spring来进行管理。

1. 为提升性能，使用Apache commons-poo2包提供的对象缓存池技术，帮助提升性能。

Java是一门面向对象的语言，在一个Java应用中，对象的创建和销毁非常常见的事情。对象的创建涉及到最重要的是Java的类加载机制，类加载机制包含以下几个过程：加载、验证、准备、解析和初始化。

a.加载：Java使用new关键字进行类的加载，加载的过程就是查找并加载类的二进制数据。

b.验证：Java代码编译后会生成class文件，验证这个阶段主要是确保字节流文件是正确的。

c.准备：准备阶段是为对象分配内存空间的过程。

d.解析：解析阶段是将虚拟机将符号引用转换为直接引用的过程，其实就是确定内存地址。

e.初始化：执行构造函数，复初值。

从以上过程可以看出，对象的创建需要经历一系列的过程。此外，Java对象的销毁是依赖

Java的垃圾收集机制的，根据不同的垃圾收集算法和垃圾收集器，对象的销毁也需要经过一系列的阶段。在一个Java应用中，对象会被频繁的创建和销毁，对于需要高性能的应用来讲，这样肯定会带来性能的损耗。因此，在本项目中，使用第三方的开源类库，提供了对象池的作用。对应用中可能需要大量生成和销毁的对象，使用对象池将这些对象存储起来。第一次使用的对象先创建好，使用之后并不立即回收，而是将其放入对象池中，以后再次需要这个对象的时候，直接从对象池中取出。通过对象池技术，避免了频繁创建和销毁对象的开销，可以极大的减少在对象创建和销毁带来的性能损耗。

### **1.3.3 创新点及特色**

对比于其他RPC框架，本项目的创新点在于：

1. **有多种序列化协议可以选择，针对不同的使用场景，可以选择不同的序列化协议**

本项目作为一个远程过程调用框架，能在不同的服务器之间传递消息是基础的功能。在不同的服务器之间传递，也就是不共享硬件资源，比如内存空间等。那么此时常用的做法就是通过网络进行传递，通过网络进行传输的时候，传输的是字节流。所以首先需要做的就是将我们传递的消息对象转换为字节流，以及在传递到其他机器后，能够将字节流转换为消息对象。这就是序列化和反序列化的目的和过程。

本项目使用Java语言作为开发语言，而Java语言本身已经提供了序列化机制，只需要我们实现其提供的序列化接口即可。更为方便的是，在选择Netty作为网络通讯框架时，Netty本身已经为我们集成了基于Java原生序列化机制的编码和解码处理器。对于开发人员来讲，是件很方便的事情。

原生的序列化机制固然简单，但是也存在序列化后的字节流文件较大等问题，在网络传输的时候，会消耗较多的带宽，占用更多的资源。带宽不足时，网络传输时间更长，导致RPC性能降低等。

所以，在java语言原生的序列化机制之外，本项目还引入了第三方开源的序列化框架，帮助RPC在序列化阶段提升性能。第三方序列化框架包括Protobuf，Hessian等。通过使用这些框架，能够让使用RPC框架的使用者有更多的选择，根据不同的使用场景可选择不同的序列化协议。

1. **基于Netty进行网络通信，具有很好的性能。**

对于Java应用来讲，对项目中需要进行输入输出或者需要进行通信的，常见的做法是选择Java语言提供的NIO/AIO框架。Java的NIO/AIO框架提供了Buffer，Selector等概念，能够让线程在数据准备的过程中继续做其他的事情，从而大大的提高IO性能。

对于大部分开发者来说，能够用好Java提供的NIO/AIO框架并不容易，需要大量的实践经验和优秀的编程习惯。另外，NIO的架构设计也并非完美，比如我们在对其提供的缓冲区进行操作的时候，往往对索引位置的操作会犯错。因此，这也就是为什么在实际的项目开发过程中，NIO并没有得到大量使用的原因。

所以选择更加易于使用，功能更加完善的NIO框架是常见的解决方案。其中典型的NIO框架就是Netty。本质上来讲，Netty是基于Java NIO的网络通讯框架，可以将其理解为对NIO框架的再次封装，对NIO框架的一些设计缺陷进行完善，使得开发人员能够更好的去使用，同时在性能方面也能有所提高。Netty之所以能够优异的性能，与其使用的线程模型有着密不可分的关系。在后文中，会对其原理做详细介绍。

1. **使用对象池、线程池等池化技术能够减少重复创建对象或者线程资源的开销。**

对象池或者线程池都是池化技术的典型代表。对象池的使用，可以让程序重复的使用池中的对象，而不需要不断的重复进行创建。从Java虚拟机对象分配的角度来讲，这样做会减少堆中内存的占用，因为Java对象的分配几乎都是在堆内存上进行的。我们知道，内存资源对于计算机系统来讲是非常宝贵的，使用池化技术能够避免在堆中重复的创建对象，节省内存资源。另外，从Java虚拟机垃圾回收的角度来讲，使用池化技术还能够避免虚拟机对内存对象的不断回收。有的垃圾收集器在垃圾收集时有所谓的“Stop The World”现象，也就是垃圾收集线程工作时，用户线程并不能同时工作，这会使得应用程序效率变低。同时，回收更少的对象，也能够节约垃圾回收的时间。

池化技术其实有其特定的使用场景，这不难理解，因为不论是对象池还是线程池，如果需要创建的对象或者线程资源不是太多，不会占用系统过多资源的情况下，是没有必要使用池化技术的。而对于一个RPC框架来讲，对象的创建和销毁是非常频繁的，在高并发的场景下，线程的创建和销毁也是非常频繁的，这就注定了我们需要使用池化技术来管理这些资源。

## 报告组织与结构

第一部分：绪论。主要介绍了RPC框架的发展情况和应用场景，以及本项目的研究背景和研究工作，RPC框架的设计目的；

第二部分：项目相关理论。对RPC框架所采用的技术进行了介绍。研究分析了RPC框架的技术原理；

第三部分：RPC框架的设计工作和进展情况。

第四部分：项目的讨论与体会。

第五部分：小结。本章对全文工作进行总结，指出了还需改进的地方。

# 项目涉及的相关知识和技术简介

## 2.1序列化相关技术和理论

**1.Java原生的序列化技术**

Java语言约定，一个了类能够被序列化就需要实现java.io.Serializable这个接口，没有实现这个接口的类将不会保存他们任何的序列化或者反序列化状态。所有可被序列化类的子类也是可以被序列化的。值得注意的是，这个序列化接口并没有任何的方法或者属性，它其实只是相当于定义了一种语义，表明实现这个接口的类是可以被序列化和反序列化的。

对象在序列化时，需要有一个与之进行关联的序列化版本号，称为serialVersionUID，主要用于在反序列化期间确认序列化对象的的发送方和接收方是否属于同一JVM。因为可能在不同的JVM之间，反序列化时会存在一些差异。

**2.Protobuf的序列化技术**

Protobuf是Google开发的语言中立的、平台无关的序列化机制，作用的是结构化的数据。可以将其类似于XML格式，但是我们知道，XML格式在传输数据的时候由于文件体积较大，格式比较复杂，在传输的时候会消耗较多的带宽，在解析时也会比较复杂。相对于XML格式的文件来讲，Protobuf定义的结构化文件体积更小，传输速度更快。一旦定义好了你想要传输的结构化数据，就能通过内置的代码生成引擎自动生成序列化代码。

总结来说，Protobuf主要是用来进行RPC数据传输的，以更好的，体积更小的方式对数据进行编码和解码。主要的过程如下：

（1）定义一个接口说明文件，描述对象成员，接口方法等各种信息。

（2）通过提供的编译器，将接口说明文件编译成具体的语言文件。

（3）将生成的文件引入，然后就可以进行调用。

**3.Hessian的序列化机制**

Hessian是一个基于二进制传输实现的远程通讯函数包。Hessian将需要传输的信息进行序列化之后，就会生成出二进制流。Hessian传输的是标准的二进制文件，使用的传输协议是HTTP协议。

**4.Kryo的序列化机制**

Kryo是一个高性能的序列化框架，Kryo框架的目标是为Java的序列化提供名速度快、效率高和易于使用的编程接口。不论是对于普通文本文件，数据库sql或者网络传输的数据，都能起着非常巨大的作用。对于Kryo来说，它不需要想之前提到的Protobuf一样，不需要先定义一个具体的结构化文件，而是通过其提供的序列化解释器进行数据的读取和写入。关于Kryo的资料并不是很多，因为其本身构成并不复杂，可以参照其Javadoc进行学习。

## 2.2异步网络通讯框架Netty相关技术和理论

**1.Java NIO理论**

Java NIO中有三个最重要的概念：Selector，Channel，Buffer。在Java NIO中，我们是面向块（Block）或者是面向缓冲区编程的。

从本质上来讲，Buffer本身就是一块内存，在底层实现上是一个数组。数据的读写，都是通过Buffer来实现的。此外，除了数组之外，Buffer还提供了对于数据的结构化访问方式，并且还可以追踪到系统对于数据的读写过程。

Channel指的是向其中写入数据或者是从中读取数据的对象，它类似于Java IO中的Stream对象。但是所有数据的读取都是通过Buffer来进行的，永远不会出现直接从Channel中读取数据的情况。与Stream不同的是，Channel是双向的，而一个流只能是InputStream或者是OutputStream，Channel打开之后则可以进行数据读取或者写入。由于Channel是双向的，所以它能更好的反映出底层操作系统的真实情况。这是因为在Linux系统中，底层操作系统的通道就是双向的。

**2.零拷贝**

在理解零拷贝之前，我们先要了解Java提供的一个概念，叫做HeapByteBufrfer，中文可以翻译为间接缓冲。在进行数据读取或者写入时，操作系统并不是直接处理存在于Java堆内存上的那个数组，而是会在操作系统层面，也就是Java虚拟机的内存模型之外，再重新开辟一块新的内存，将Java堆上的直接数组拷贝到操作系统的内存中，然后再与IO系统进行交互。也即是说，如果使用间接缓冲，就会多出来一次数据拷贝的过程。

反之，如果使用直接缓冲的话，就不用有拷贝数组的操作了。我们可以将其理解为零拷贝的概念。需要注意的是，零拷贝的机制本身是由操作系统支持的，Java语言本身只能利用操作系统提供的这种特性。

下面我们可以先梳理一下间接拷贝的过程：

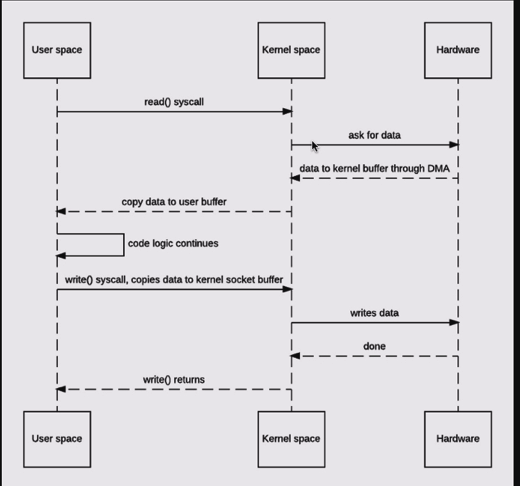
1.JVM从用户空间发出一个系统调用，发送给内核空间。此时操作系统从用户空间模式切换到内核空间模式。

2.内核空间向磁盘发起一个数据请求，数据此时会读取到内核空间的缓冲区中，用户空间没法直接使用。

3.将之前拷贝到内核空间的数据又拷贝到用户空间去（第二次数据拷贝）。

4.JVM再发出一个系统调用，将数据拷贝到网络的一端，此时又需要将此前拷贝到用户空间缓冲区的数据再次拷贝到内和空间缓冲区，然后真正的向网络中写入数据。

过程如下图所示：



**图2.4 操作系统数据拷贝示意图图**

可以发现，在整个拷贝的过程中，用户空间并没有对数据进行任何的处理。而零拷贝就是减少了数据从内核空间到用户空间的拷贝。

**3.Reactor模式**

Reactor模式的角色构成，一共有5种组件：

1.Handle：称为句柄或者描述符，本质上来讲是一种资源，是由操作系统提供的。该资源用于表示一个个的事件，比如说文件描述符，或者针对网络编程中的Socket描述符。事件既可以来自于外部，也可以来自于内部。外部事件包括客户端的连接请求，客户端发送的数据等。内部事件比如说操作系统产生的定时器事件。Handle是事件产生的发源地。

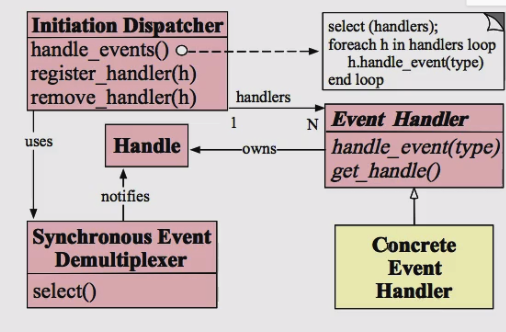
2.Synchronous Event Demultiuplexer：称为同步事件分离器，它本身是一个系统调用，用于等待事件的发生。事件可能只有一个，也可能有多个。调用方在调用它时会被阻塞，一直阻塞到同步事件分离器上有事件产生为止。对于Linux系统来说，同步事件分离器指的就是常用的IO多路复用机制，比如说select,poll等。

3.EventHandler：称为事件处理器，本身由多个回调方法构成，这些回调方法构成了与应用相关的对于某个事件的反馈机制。Netty相对于Java NIO来讲，在时间处理器这个角色上进行了升级，为开发人员提供了大量的回调方法，以供我们在特定事件产生时实现相应的回调方法来进行业务逻辑的处理。

4.Concrete Event Handler：称为具体事件处理器，它本身实现了事件处理器所提供的各个回调方法，用于实现具体的业务逻辑。它本质上是我们所编写所编写的处理器的实现。在Netty中其实就是对应于我们自己编写的Handler。

5.Initiation Dispatcher：称为初试分发器，实际上这就是非常重要的Reactor角色。它本身定义了一些规范，这些规范用于控制事件的调度方式，同时又提供了应用进行事件处理器的注册、删除等设施。它本身是整个事件处理器的核心所在，Initiaation Dispatcher会通过同步事件分离器来等待事件的发生。一旦事件发生， Initiaation Dispatcher首先会分离出每一个事件，然后调用事件处理器，最后调用相关的回调方法来处理这些事件。

下图是Reactor模式示意图：



**图2.5 Reactor模式示意图**

如上图所示，来对Reactor模式的执行流程做一个梳理：

1. 当应用向Initiation Dispatcher注册具体的时间处理器时，应用会标识出该事件处理器希望Initiation Dispatcher在某个事件发生时向其通知该事件，该事件与Handle关联。

2..Initiation Dispatcher会要求每个事件处理器向其传递内部的Handle，该Handle向操作系统标识了事件处理器。

3.当所有的事件处理器注册完毕后，应用会调用handle\_event方法来启动Initiation Dispatcher的事件循环。这时，Initiation Dispatcher会将每个注册的事件管理器的handle合并起来，并使用同步事件分离器等待这些事件的发生。比如说，TCP协议层会使用select同步事件分离器操作来等待客户端发送的数据到达连接的socket handle上。

4.当某个事件源对应的Handle变为ready状态时，同步事件分离器就会通知Initiation Dispatcher。

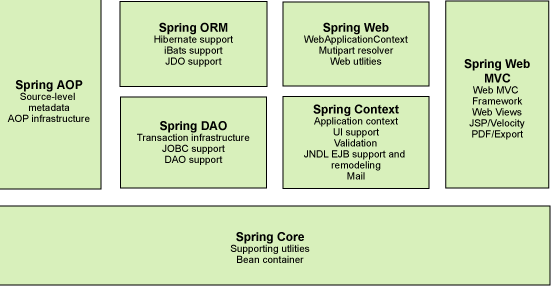
5. Initiation Dispatcher会触发事件处理器的回调方法，从而响应这个处于ready状态的Handle。当事件发生时，Initiation Dispatcher会将被事件激活的Handle作为key来寻找并分发给恰当的事件处理器回调方法。

6. Initiation Dispatcher会回调事件处理器的handle\_events回调方法来执行特定于应用的功能，从而响应整个事件。

## 2.3一站式处理框架Spring相关技术和理论

在之前提到过，Spring是J2EE开发的一站式框架，本节就深入Spring的本质，介绍其重要原理。

下图是Spring框架结构图：



**图2.6 Spring框架架构示意图**

**1.Spring应用的主要设计模式-简单工厂模式**

简单工厂模式是类的创建模式，可以用来帮助创建对象，就是因为使用了这个模式，Spring框架才能够依据配置文件给我们生成对象。

简单工厂模式是类的创建模式，又叫做静态工厂方法。简单工厂模式由一个工厂对象决定决定创建出哪一种类的实例。也就是说，它会根据给他传进去自变量的不同返回不同类的实例。简单工厂模式的实质是由一个工厂类根据传入的参数，动态的决定应该创建哪一个类的实例。

简单工厂模式的组成：

（1）工厂类角色：担任这个角色的是简单工厂模式的核心，具有和应用紧密相关的业务逻辑。工厂类在客户端的直接调用下创建需要的对象，它往往是一个具体的类.

（2）抽象产品角色：担任这个角色的是简单工厂模式创建对象的弗雷。通常它是一个抽象；类或者接口。

（3）具体产品角色：简单工厂模式所创建的任何对象都是这个角色的实例，通常其由一个具体的类来实现。

**2.Spring应用的主要设计模式-代理模式**

代理模式的作用是：为其他对象提供一种代理，以用控制对这个对象的访问。这是因为，在某些时候，一个客户端不能或者不想直接去引用某个对象，此时就可以使用代理对象去进行引用，相当于起到一个桥梁的作用。代理模式对于Spring来讲非常重要，Spring最重要的AOP思想就要依赖代理模式来实现。

代理模式的主要构成有：

（1）抽象角色：声明真实对象和代理对象拥有的共同接口。

（2）代理角色：代理角色内部含有对真实对象的引用。只有这样，代理对象才能够对真实对象进行代理，以便能够操作真实对象。此时，代理对象能够执行真实对象的各种操作。

（3）真实角色：代理角色代表的真实对象，是我们最终进行引用的对象。

**3.Spring的重要思想-AOP**

AOP其实是Aspect-Oriented-Programming的缩写，中文可以翻译为面向切面编程或者面向方面编程。Java是一门面向对象编程的语言，一切皆为对象。面向对象编程的几大特性是继承、封装和多态。通过这几大特性，可以建立出一种对象的层次结构。但是，我们需要注意的是，如果我们想要为那些分散的行为引入到公共部分时，面向对象编程会显得比较复杂。简单的来说，面向对象编程定义的是一种从上之下的结构层次，但是对于从左到右这种横向的对象关系并不适用，比如说异常处理功能。在一个项目的很多地方，我们都需要进行异常处理，但是这些异常的处理代码其实和我们真正关心的业务逻辑并没有太多实质上的关联。这种在各处都可能出现的并且与业务逻辑无关的代码，我们将其称为横切。在面向对象编程中，这种横切代码过多将使系统变得非常臃肿，且难以维护，也不利于我们对模块的重用。

而对于面向切面编程技术来讲，它正是为了解决上述问题而出现的。既然面向对象变成合格定义的是从上至下的一种关系，那么作为其补充和完善，面向切面编程定义的就是一种从左到右的一种关系。面向切面编程使用的被称为“横切”的技术，通俗的理解就是将哪些与具体的业务逻辑无关的公共行为封装起来，将其作为一个公共的模块，这样做就可以极大的减少系统无关的冗余代码，提高系统的可维护性。

## 2.4其他相关技术和理论

### **2.4.1 Java的反射理论**

**1. 简介**

我们知道，Java本质上来讲是一门静态类型的语言。Java程序的运行，分为编译阶段和运行阶段。那我有时候我们需要实现这样一个需求， 也就是在Java运行时环境中，对于任意一个类，我们能不能得到这个类的属性呢？能不能得到这个类拥有的方法呢？我们知道，Java是面向对象的编程语言，我们能不能在运行时调用一个对象的方法呢？前面已经说过，Java是一门静态类型的语言，而在运行期间要得到这些类的信息仿佛是不可能的。不过，Java恰好为我们提供了这样一种机制，让我们能够在程序运行期间得到类的信息，这种机制就是反射。

**2. 反射的功能**

**1).在程序运行期间构造一个类的对象**

我们平常所熟悉的Java生成对象的方式是使用new关键字，使用new关键字构造对象显然不是在运行期完成的事情。使用Java的反射机制，就能够在程序运行期间动态构造出一个对象。

**2).在运行时判断任意一个类所具有的成员变量和方法**

一个类的成员变量或者属性我们能够比较直观的得到，但是在程序运行期间，只有通过反射的方式，动态的去获取类的成员变量和方法。

**3).在程序运行期间调用对象所具有的方法**

**2. Java反射的实现**

在Java中，主要提供了如下的类来实现Java的反射机制。Class类，代表的就是一个类。Field类，代表的是类的成员变量或者熟悉。Method类，代表类的方法。Constructor类，代表类的构造方法。

### **2.4.2 gradle介绍**

**1.简介**

在实际的项目开发过程中，当项目代码开发完成一个阶段之后，我们一般都会进行项目的构建。随着技术的发展，从最开始使用的Ant构建工具，到现在依旧流行的Maven构建工具，再到本项目使用到的构建工具gradle，在实际的开发过程中都是不可或缺的。特别是gradle，作为目前新兴的项目构建工具，因为其强大的功能，受到越来越多开发人员的喜爱。Gradle一般使用构建脚本build.gradle进行构建，我们可以在其中指定特定的项目和任务，这是每个工程都需要的。另外，我们需要的包也可以使用gradle进行引入，相比于Maven来讲，gradle的方式更加的简单，没有xml文件那么庞大和臃肿。

## 2.5本章小结

本章主要对项目涉及到的主要技术和理论做了基本的介绍。先介绍了序列化相关技术和理论，对于RPC来讲，序列化是最基础的工作，这样消息才能通过网络进行传输。再介绍了本项目的基石，也就是异步网络通信框架Netty，特别是对Netty的重要原理进行了较为详细的介绍。接着，对本项目用到的一站式开发框架Spring进行了介绍，Spring框架较为庞大，所以主要对其重要思想AOP进行介绍，以及其用到主要的设计模式。此外，还对Java的反射理论进行了介绍，为什么介绍Java的反射理论呢？这是因为不论是在AOP中，还是Netty中，都离不开反射理论的支撑。最后，对本项目使用的项目构建工具gradle进行了简单介绍，这是目前越来越流行的项目构建工具。

# 项目工作和进展情况

## 3.1项目的概况

本项目是基于Netty进行开发的，Netty作为RPC的通讯框架，并且使用多种序列化框架帮助进行序列化和反序列化。下面先简要的描述整个RPC中最为关键的步骤：

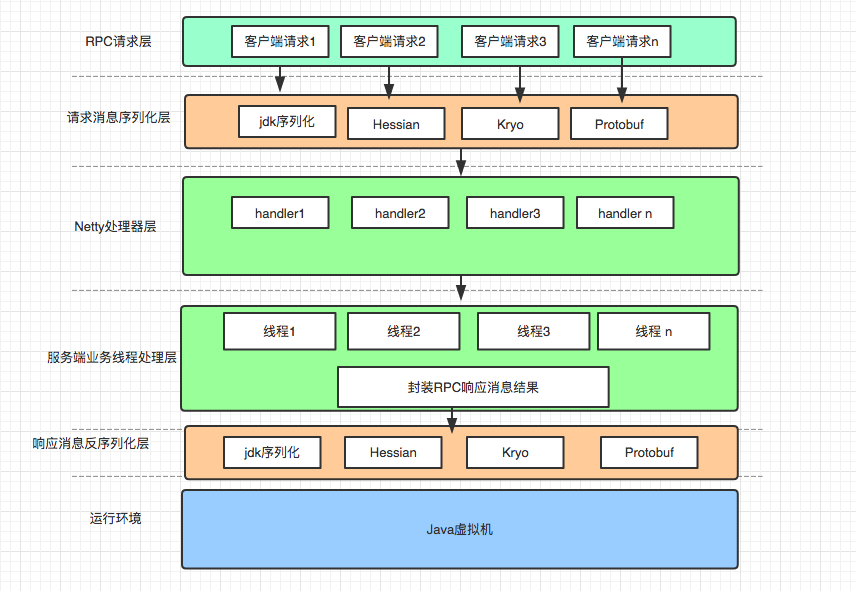
1. RPC本质上是一个请求和响应的过程，客户端发起一个RPC请求，服务器收到请求之后进行处理，得到结果之后再将响应的消息返回给客户端。而对于请求消息以及响应消息来讲都需要规定好其格式，这样客户端发送请求消息以及服务端返回响应消息才有一个统一的结构，便于数据的传输和处理。对于请求消息和响应消息来讲，其本质上就是就是一个POJO类。请求消息应该具有这些字段：请求消息的ID，远程调用过程的类，远程调用的函数/方法，远程调用的类型参数以及参数值等。同样，对于响应消息的POJO类，需要包括这些字段：响应消息的ID，远程调用的结果，返回的错误信息等。我们还应该根据这些POJO类生成其对应的get和set方法。这样，消息的结构就已经定义好了。
2. 作为一个RPC服务器来讲，需要随时满足客户端的RPC请求，也就是一直需要处于运行的状态。在本项目中，我们使用的是Spring框架作为类的加载的容器，所以一旦服务启动的时候，就需要先对我们定义的RPC接口或者接口的实现类进行加载。这其实就是服务启动的过程。需要注意的是，此时服务器并没有执行RPC调用，因为客户端还没有发起具体的请求。只有收到客户端具体的请求之后，服务器才会根据具体的请求执行服务初始化的过程。
3. 服务器启动之后，将一直处于服务监听的状态。此时客户端就可以发起RPC请求，发起的请求消息里面应该包含基本的信息，比如需要远程调用的类的名称，类中的函数名称，包含有哪些属性，属性的值是多少等。一旦构建好这些信息之后，就可以通过网络进行传输。
4. 客户端构建好请求消息之后，需要将消息进行网络传输。传输之前需要做的事情首先是需要将请求消息进行序列化，序列化为字节流之后再经过网络进行传输。根据不同的业务场景，听提供了多种序列化框架进行选择，通过将这些序列化过程编码为处理器，就可以使用典型的Netty编程模型进行调用。
5. 请求消息序列化完成之后，经过网络传输到RPC服务器端，服务器端先将字节流反序列化为消息对象。再根据消息对象的具体内容，比如类名，方法名，属性列表和属性值等信息构造出该对象的实例。在这个过程中，由于一切都是在程序运行时动态发生的过程，所以必然会使用到Java的反射机制。前文已经介绍过，反射机制可以在程序运行期间动态的创建出对象实例。
6. 对象实例创建完成之后，需要将其封装为响应消息，同样需要将响应消息进行序列化成字节流，经过网络传输到客户端。
7. 客户端收到响应消息之后，依然需要将其反序列化成消息对象。要得到RPC结果，还需要对得到的消息进行必要的解析，解析后再显示出远程调用过程是否成功。整个RPC从请求到响应也就全部结束。

## 3.2项目的开发内容和结果

### **3.2.1 系统架构设计**

#### 3.2.1.1 项目架构总体设计

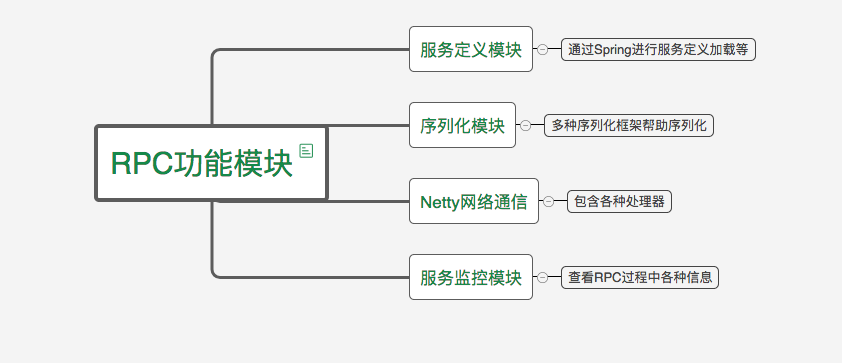
整个系统可分为如下几层：

**图3.1 系统架构示意图**

客户端可以同时发起多个RPC请求消息，请求消息构造好之后，需要进行消息的序列化， 序列化完成之后，通过网络进行传输。其中，专门有一层是封装出多个Netty的处理器，这些处理器包括编码和解码处理器，TCP粘包处理器等，这些处理器会对消息进行链式处理，这是Netty典型的处理方式。服务端收到请求消息之后，会根据消息内容，使用反射机制创建出该消息对象的实例。最后将结果封装为响应消息再返回给客户端。当然，这些所有的阶段，都是运行在Java虚拟机之上的。

。

#### 3.2.1.2 系统模块划分



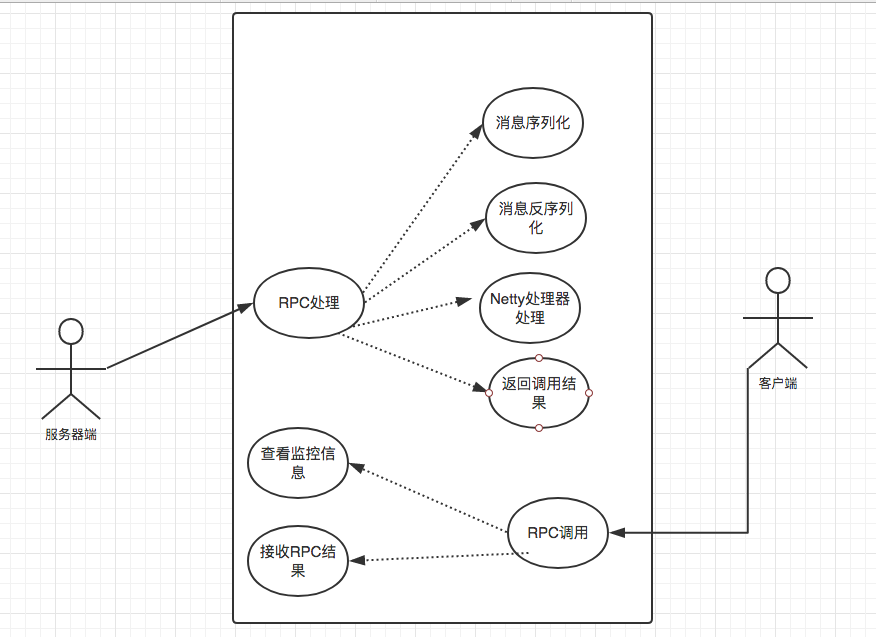
**图3.2 系统功能模块图**

1. 服务定义及加载模块：通过配置文件对服务的定义和加载进行统一的管理。在该配置文件中，需要使用特定的标签对需要加载的服务进行配置，简单的来说就是我们需要进行RPC的接口类以及其接口类的实现。 服务器在启动的时候，需要先加载配置文件，进而监听客户端的RPC调用请求，所有的这些行为都由Spring进行统一的管理。
2. 序列化模块：不论是请求消息还是响应消息，都需要通过序列化之后才能在网络进行传输。整个RPC的过程都离不开消息的序列化和反序列化。本项目通过多个序列化框架实现可选的多种序列化方式，确保使用者可以根据自己的需求进行序列化的操作。
3. Netty网络模块：本项目使用Netty进行网络通信，根据不同的序列化方式设计对应的处理器。Netty的线程模型选择至关重要，本项目使用的是常用的主-从线程模型。具体来讲就是有一个bossGroup线程循环组进行任务的分配，而其自身并不执行具体的任务，而真正的任务交给workerGroup线程循环组来执行，这就避免了一个任务耗时过长导致线程阻塞的情况。
4. 服务监控模块：通过控制台可以查看RPC服务的运行情况。比如说调用是否成功，调用所消耗时间，如果调用发生错误，输出错误信息等。通过对服务的监控，能够更好的提升RPC的稳定性。

### **3.2.2 系统概要设计**

#### 3.2.2.1 系统用例图设计

系统的用例图如下：



**图3.3 系统用例图**

#### 3.2.2.2 系统流程设计

##### 3.2.2.2.1 系统概要流程设计

1. 服务端加载配置文件，此后将一直处于运行状态，一直等待客户端发起请求。
2. 客户端发起请求，请求消息中应该包含请求类名，方法名，属性名等基本信息。
3. 构建好请求消息之后，通过序列化框架对请求消息进行序列化。
4. 序列化完成之后，通过Netty传输字节数据到服务器端。
5. 服务器端将字节数据反序列化出来，得到相应的请求信息，进行处理之后返回给客户端。
6. 客户端接收到服务器返回的响应信息，解析出响应结果。另外还会得到此次RPC过程的一些信息，比如调用是否成功，调用失败的错误消息等。

### **3.2.3 系统详细实现**

**3.2.3.1 序列化的实现（以Protobuf举例说明，其他序列化框架同理）**

* **使用Protobuf序列化的实现**

1. **ProtobufCodecHelper类**

**表3.1 类ProtobufCodecHelper的实现**

| **编号** | **函数名或者属性名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | encode() | 编码函数 |
| 2 | decode() | 解码函数 |
| 3 | BlindBigInt::BlindBigInt(int,int) | 构造函数3 |
| 4 | BlindBigInt::~BlindBigInt() | 析构函数 |
| 5 | BlindBigInt::isZero() | 判断是否为0 |
| 6 | BlindBigInt::toULong() | 将数值转换成是十进制的长整型数 |
| 7 | BlindBigInt::toString() | 将数值转换成字符串 |
| 8 | BlindBigInt::toHexString() | 将数值转换成十六进制格式表示的字符串 |
| 9 | BlindBigInt::operator[]() | 获得数值特殊一位上的值 |
| 10 | BlindBigInt::operator\*() | 将两个BlindBigInt数值相乘 |
| 11 | BlindBigInt::operator\*=() | 将两个BlindBigInt数值相乘并赋值 |
| 12 | BlindBigInt::operator+() | 将两个BlindBigInt数值相加 |
| 13 | BlindBigInt::operator>=() | 比较当前BlindBigInt数值是否大于等于参数BlindBigInt数值 |
| 14 | BlindBigInt::operator>() | 比较当前BlindBigInt数值是否大于参数BlindBigInt数值 |
| 15 | BlindBigInt::operator<=() | 比较当前BlindBigInt数值是否小于等于参数BlindBigInt数值 |
| 16 | BlindBigInt::operator<() | 比较当前BlindBigInt数值是否小于参数BlindBigInt数值 |
| 17 | BlindBigInt::operator/() | 将两个BlindBigInt数值相除 |
| 18 | BlindBigInt::operator==() | 判断两个BlindBigInt数值是否相等 |
| 19 | BlindBigInt::operator%() | 将两个BlindBigInt数值取余 |
| 20 | BlindBigInt::operator<<=() | 对BlindBigInt数值做左移位操作 |
| 21 | BlindBigInt::operator|=() | 将两个BlindBigInt数值做或位操作 |
| 22 | BlindBigInt::operator&=() | 将两个BlindBigInt数值做和位操作 |
| 23 | BlindBigInt::operator-() | 将两个BlindBigInt数值相减 |
| 24 | modPow() | x^ymodm |
| 25 | binToHex() | 将十进制字符串转换为十六进制字符串 |
| 26 | bitset::add() | 做位相加操作 |
| 27 | bitset::subtract() | 做位相减操作 |

1. **BlindRSA类**
2. **实现欧拉函数的变量**

**表3.2 实现欧拉函数的变量**

| 编号 | 变量 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 1 | Int p,q | 十七位的随机数,p!=q |
| 2 | BlindBigIntn | n=p\*q |
| 3 | BlindBigIntphi | Phi=(p-1)(q-1) |
| 4 | BlindBigInte | gcd(e,phi)==1 |
| 5 | BlindBigIntd | [e\*d==1]mod n |

1. **实现欧拉函数的函数**

**表3.3 实现欧拉函数的函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | BlindRSA::BlindRSA() | 构造函数1 |
| 2 | BlindRSA::BlindRSA(int) | 构造函数2 |
| 3 | BlindRSA::BlindRSA(int,int) | 构造函数3 |
| 4 | BlindRSA::~BlindRSA() | 析构函数 |
| 5 | BlindRSA::GetPHI() | 返回变量phi |
| 6 | BlindRSA::getP() | 返回变量p |
| 7 | BlindRSA::getQ() | 返回变量q |
| 8 | BlindRSA::getPublicKey() | 返回公钥 |
| 9 | BlindRSA::getPrivateKey() | 返回私钥 |
| 10 | BlindRSA::getModulus() | 返回modulus=p\*q |
| 11 | BlindRSA::setPublicKey(unsignedint) | 设置公钥 |
| 12 | BlindRSA::setPublicKey(BlindBigInt) | 设置公钥 |
| 13 | BlindRSA::encrypt() | 加密 |
| 14 | BlindRSA::decrypt() | 解密 |
| 15 | BlindRSA::modInverse() | 反向取余 |
| 16 | BlindRSA::isPrime() | 素数验证 |
| 17 | BlindRSA::isPrimeMR() | 素数验证 |
| 18 | BlindRSA::isPrimeDiv() | 素数验证 |
| 15 | BlindRSA::gcd(int,int) | Euclidean算法 |
| 16 | BlindRSA::gcd(BlindBigInt,BlindBigInt) | Euclidean算法 |

**3.2.3.2 LinkableRingSignature（关联环签名部分）**

* **关联环签名算法实现**

1. 结合函数（combiningfunction）

结合函数环签名方案中的一个重要组成部分。

定义为结合函数，其中，k是输入，v是随机选取的初始值，是上的任意值，输出z是上的值。

选定k和v的值后，结合函数有以下的特点：

1. 对于每个s,，以及其他给定输入，方程，是从到输出z的一一映射。
2. 对于每个s,，给定一个b比特长读的值z，和除以外的所有的值，可以求解满足的b比特长度值。
3. 如果一个攻击者不能你想求解陷门方程中的某个方程，那么给定k , v和z,它就很难根据求解中的任何一个值。
4. 结合算数为以下形式：

其中定义为。

1. 只要输出z与v相等，该方程的计算过程就会连成一个环形，这也是环签名名称的由来。



**图3.8 环签名示意图**

1. **关联环签名代码实现**

**CommonFunction类**

**表3.4 类CommonFunction实现**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | CommonFunctions::GetGroupParameters() | 获得群参数 |
| 2 | CommonFunctions::IntegerToString() | 将CryptoPP::integer转为字符串 |
| 3 | CommonFunctions::GenerateString() | 将向量中的各值转为字符串 |
| 4 | CommonFunctions::Hash1() | SHA1哈希函数 |
| 5 | CommonFunctions::Hash2() | SHA2哈希函数 |

**LinkableRingSignProver类**

1. **实现的变量**

**表3.5 LinkableRingSignProver变量**

| **编号** | **变量** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | Integer\_private\_key | 私钥 |
| 2 | unsignedint\_self\_identity | 当前环成员 |
| 3 | unsignedintnum\_members | 环成员人数 |
| 4 | Integerg | 群 |
| 5 | Integerq | 群序 |
| 6 | stringm | 签名消息 |
| 7 | vector<Integer>public\_keys | 公钥向量 |
| 8 | IntegerC | 关联环参数 |
| 9 | IntegerY | 关联环参数 |
| 10 | vector<Integer>S | 关联环参数 |

1. **实现的函数**

**表3.6 LinkableRingSignProver函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | LinkableRingSignProver::LinkableRingSignProver() | 构造函数 |
| 2 | LinkableRingSignProver::GenerateSignature() | 产生签名 |
| 3 | GeneratePublicPrivateKeys() | 产生公私钥对 |

1. **LinkableRingSignVerifier类**
2. **实现的变量**

**表3.7 LinkableRingSignVerifier变量**

| 编号 | 变量 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 1 | IntegerC | 关联环参数 |
| 2 | IntegerY | 关联环参数 |
| 3 | vector<Integer>S | 关联环参数 |
| 4 | unsignedintnum\_members | 环成员人数 |
| 5 | Integerg | 群 |
| 6 | Integerp | 素数 |
| 7 | Integerq | 群序 |
| 8 | stringm | 签名消息 |
| 9 | vector<Integer>public\_keys | 公钥向量 |

1. **实现的函数**

**表3.8 LinkableRingSignVerifier函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | LinkableRingSignVerifier::LinkableRingSignVerifier() | 构造函数 |
| 2 | LinkableRingSignVerifier::VerifySignature() | 验证函数 |

## 

## 3.3项目开发计划及阶段性完成情况

### **3.3.1 项目开发计划**

**表3.9 项目开发计划**

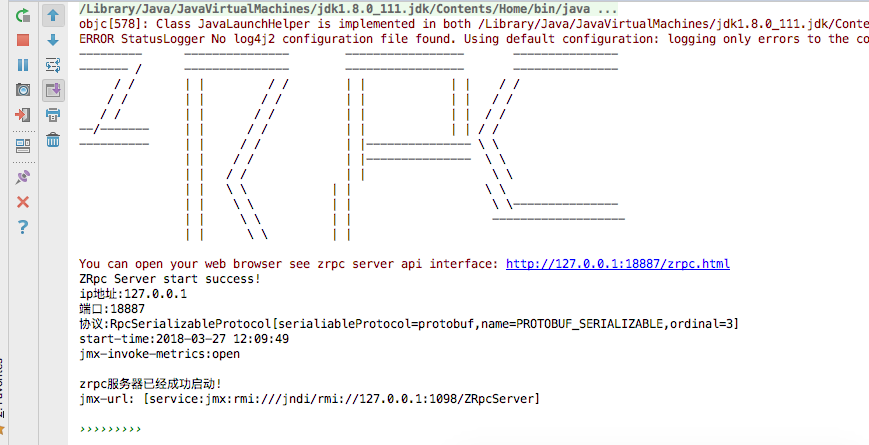
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **任务名称** | **开始时间** | **计划完成时间** |
| **项目立项** | 2017年4月1日 | 5日 |
| 相关资料收集 | 2017年4月6日 | 5日 |
| 用户访问 | 2017年4月11日 | 2日 |
| 系统调研 | 2017年4月13日 | 2日 |
| 可行性分析 | 2017年4月15日 | 2日 |
| 制定项目计划 | 2017年4月17日 | 2日 |
| **知识积累** | 2017年4月24日 | 7日 |
| 建立开发环境 | 2017年4月27日 | 3日 |
| 相关知识学习 | 2017年5月1日 | 14日 |
| 相关工具学习 | 2017年5月15日 | 5日 |
| **需求分析** | 2017年5月20日 | 4日 |
| 需求建模 | 2017年5月25日 | 2日 |
| 编写需求规格书 | 2017年5月27日 | 2日 |
| **设计** | 2017年5月29日 | 4日 |
| 架构设计 | 2017年6月2日 | 6日 |
| 功能模块设计 | 2017年6月18日 | 6日 |
| 编写设计文档 | 2017年6月24日 | 2日 |
| 编码实现 | 2017年6月24日 | 28日 |
| **测试** | 2017年7月23日 | 3日 |
| 单元测试 | 2017年7月24日 | 1日 |
| 集成测试 | 2017年7月25日 | 1日 |
| 系统测试 | 2017年7月26日 | 1日 |
| **总结** | 2017年11月20日 | 14日 |
| 编写总结报告 | 2017年11月20日 | 14日 |

### **3.3.2 项目完成情况**

依据开发计划，项目的主体功能基本得到是实现，预期的目的已经达到。详细的完成情况可见如下详细说明：

**3.3.2.1 服务器端启动，加载配置文件，实现Spring框架统一管理下的服务注册，加载。**

运行文件RpcServerStarter.java文件，在此文件中通过类ClassPathXmlApplicationContext类加载配置文件rpc-invoke-config-server.xml。开始运行之后，服务器将一直处于运行状态，将会一直监听来客户端的RPC请求：



**图3.9 启动服务端**

之后，投票中心在候选名单中添加候选人信息和选民列表。



**图3.10 编辑投票详情**



**图3.11 添加候选人**

投票中心在网站上编辑邮件内容，网站根据投票中心提供的邮件地址对每位投票者进行邀请。



**图3.12 邮件邀请**

**3.3.2.2 匿名投票**

每位投票者通过邮件接收邀请，网站对用户提供的个人信息进行RSA加密，之后作为关联环的消息。



**图3.13 查看邮件**

点击邮件链接。通过网站生成关联环签名，投票中心可以通过环签名确认投票者的身份合法性，并分配给投票者用于标识唯一身份的序列码，用户完成匿名注册。



**图3.14 生成关联环签名**

用户下载含有投票信息以及签名的文件到本地，利用该文件登录投票中心。



**图3.15 用户登录**



**图3.16 选取候选人**

投票者凭借身份序列码进行匿名投票，投票过程用户将选票内容盲化，交给投票中心进行盲签名，避免双方篡改信息。



**图3.17 盲签名投票**

**3.3.2.3 查看结果**

系统包括三个阶段：注册阶段，投票阶段，计票阶段。三个阶段限定时间完成，投票结束前不显示投票结果。



**图3.18 查看参与的投票**

投票结束后，投票者和投票中心可以前往网站投票结果页面查看本次投票结果。



**图3.19 投票结果**

**3.3.2.4 公开验证**

在选举的中间过程，选举的中间结果不会被泄漏，且投票的状态变化公布在网站的公告信息表中，注册阶段结束公布List1，投票阶段结束公布List2，计票阶段结束公布List3。如下列图示。



**图3.20 注册信息表（List1）**



**图3.21 投票信息表List2**



**图3.22 计票信息表List3**

投票人和投票中心可凭借手中持有信息对信息表进行公开验证，对各阶段进行有效监督。

## 3.4本章小结

本章主要对项目的基本情况作了详细介绍，其次介绍了系统的概要设计，概要设计中设计了系统的具体架构部分使用图示的方式进行了更为直观的说明。

# 讨论与体会

## 4.1对项目开发过程的体会

本项目的灵感来源主要是在实习过程中使用了很多的RPC框架进行项目开发，用的最多的是Facebook的Thrift和Google的grpc开源框架。在使用这些框架的同时，对其强大的功能留下了深刻的印象，由于现在国内外各大互联网公司都在大量的使用RPC框架进行各个组件之间的通信，其重要性是不言而喻的。

另外，由于个人的方向选择，对企业开发中的高并发架构非常有兴趣，所以去学习了一些和并发处理相关的技术。其中不得不提的就是异步的网络应用框架Netty。Netty是一门设计非常精巧的网络应用框架，已经大量的应用在了各个企业级应用的开发之中。常见的比如各个App应用消息的推送以及各大公司内部项目之间的通信等等。

正是基于上面两个重要的原因，才有了本项目的灵感来源。要完成本项目，因为是使用Java语言实现的，所以熟悉Java语言是最基本的要素；在本项目中，大量的使用到了Netty作为通讯工具，因此熟悉和掌握Netty相关的开发技术是非常必要的条件；此外，因为没有开发过类似的项目，所以前期需要很好的了解一些相关的开源项目，好在gprc和Thrift等都是开源的，并且有很多的博客文章对其源代码进行解释，所以能够降低很多的知识获取成本。

就整个项目开发过程而言，前期的知识储备是最重要的。虽然前期花了大量的时间去学习Netty，写了很多的Demo实例和做了很多笔记，但是在实际的开发过程中，还是遇到了很多的困难。比如说Netty的主从线程模型，在客户端和服务器端的模式是不相同的，由于服务器端使用的是主从线程模型，如果不能很好的去理解主从线程模型，那么Netty所起的重要作用也将不能理解，那么对项目性能的考量就会失去重要的参照。

除此之外，项目开发过程中还用到一些重要的设计模式，比如单例模式。虽然这个模式非常简单，但是在使用的时候也需要注意很多的问题，其中最重要的莫过于线程安全的问题。在使用懒汉式单例模式的时候，在多线程的情况下，一般都会出现多线程的问题。在本项目的开发过程中，同样有这样的问题存在，并真实的引发了程序运行过程中异常的发生。不过，对于这个问题已经有很多的解决方式，本项目中使用的是最常用的双检查锁机制进行线程安全问题放入处理。

总而言之，项目开发是一个很长的过程。前期需要进行大量的知识储备，开发过程中需要解决很多的技术问题，开发完成后还要进行充分的性能和功能测试以及开发文档的编写。不过，项目开发的乐趣在于，能够将感兴趣的主题或者有意思的想法变为现实，是一件很有成就感的事情。这也就是生活的乐趣，不断学习，不断提高。

## 4.2对项目的评价

相对于其他已有的RPC框架，本项目的创新点如下：

1. **多种序列化协议可供选择**

多种序列化协议增强了RPC框架的灵活性，丰富了适用场景。

本项目使用了多种序列化协议进行尝试，包括Java原生的序列化协议，以及Hessian，kryo等第三方序列化框架。Java原生的序列化有其独特的优势，比如说使用简单，只需要继承Java提供的接口，并且，在Netty中使用的编码解码处理器就是基于这种原生的序列化机制的。但是，原生的序列化机制在许多方面并不是最好的，比如在传输数据的时候，会消耗很多的带宽。所以，在原生的序列化机制之外，选择其他优秀的序列化框架帮助序列化是很好的方式。虽然在编码量和编码难度上可能有所提高，系统设计的复杂性也会增大，但是却能让系统提供更好的服务和更优秀的性能。

1. **选择Netty进行网络通信**

Netty是一个异步的网络通讯框架，为什么称为异步的呢？是因为它是基于Java NIO/AIO的。原因在于，Java提供的NIO机制，在编程难度上比较高，要想在项目开发中国大规模的应用是比较困难的。一是编写高质量的NIO代码则需要具有非常多开发经验的编程人员，二是Java NIO也并非是没有缺点。正是基于以上原因，才会出现Netty等网络通讯框架。选择Netty的原因在于，它本身是对NIO的再次封装，让开发者能够更好的进行编程开发，并且在NIO缓冲区等特性上进行了很好的优化，能够提供更好的性能。。

1. **使用池化技术。**

池化技术在项目开发的很多方面都得到了大量的应用。比如线程池技术，对象池技术，数据库连接池技术。本项目使用了对象池技术，主要是为了降低重复创建对象和销毁对象的开销。

## 4.3本章小结

本章主要是对整个项目开发过程进行了简单的回顾。主要是项目开发过程中的体会，用到了哪些技术，遇到了哪些问题以及对怎样解决这些问题产生的思考。

# 小结

针对目前的开发成果，可以说基本实现了RPC所需功能。但是，还有以下方面可以进行改善：

1.项目的性能研究

目前RPC能够实现基本的功能，虽然采取了很多的性能优化方式，但是对其具体变现还不能有数字化的衡量，所以如果能够直观的看到一些RPC性能参数将会是下一步项目开发需要进行的事情。

2.项目的可视化

本项目和其他系统的一个区别在于，本项目提供了比较少的可视化界面，而其他项目可能会有很多的界面展现。这其实并不影响项目的功能，对于很多的第三方框架来讲，都是给项目开发提供基本服务的，本项目也是这样一个目的。但是，这并不是说可视化界面没有用，在一些方面比如监控参数等功能上，会让使用者有更好的使用体验。

3.不同语言间的调用

由于时间和技术能力的限制，本项目暂时没有实现跨语言间的RPC调用，但是对于使用多语言的项目来讲，跨语言调用有时候是必要的。所以，能够实现跨语言调用将会使得项目功能更加强大，对于使用者来讲，也会更加便利。

# 参考资料

[1] 张国印，王玲玲，马春光．环签名研究进展[J]．通信学报，2007，28(5)：109-116．

[2] L.Chaum.Untraceable electronic mail, return address and digital pseudonyms[J]. Communications of the ACM,1981, 24(2):84-88.

[3] PENG K.A general and efficient countermeasure to relation attacks in mix-based e-voting[J].International Journal of Information Security,2011,10(1):49-60.

[4] FUJIOKA A, OKAMOTO T,OHTA K.A practical secret voting scheme for large scale elections[C]. Advances in Cryptology-AUSCRYPT 1992,LNCS 718.Berlin:Springer.Verlag,1993:244-25 1.

[5] U W, WANG S.A secure and practical electronic voting scheme[J].Computer Communication,1999,22(3):279-286.

[6] 陈晓峰，王育民．基于匿名通讯信道的安全电子投票方案[J]．电子学报，2003，31(3)：390-393．

[7] CHEN Xiaofeng,WU Qianhong,ZHANG Fangguo,eta1.New receipt-free voting scheme using double-trapdoor commitment[J].Information Sciences,201l,181(8):1493—1502.

[8] 熊丹．关联环签名及其在电子投票中的应用研究[D]．成都：西南交通大学，2015．

[9] J.Cohen, M.Fischer. A Robust and Verifiable Cryptographically Secure Election Scheme, Proc. of the 26th IEEE Symposium on the Foundations of Computer Science, 1985, pp.372-382

[10] 王继林，伍前红，陈德人，王育民．匿名技术的研究进展[J]．通信学报，2005,26(2)：112-118

[11] 李轲．环签名理论及其应用研究[D]. 济南:济南大学,2016.

[12] 张国印，王玲玲，马春光．环签名研究进展[J]．通信学报，2007，,28(5)：109-117

[13] 韩玮．电子选举中的安全技术研究[D]．上海：上海交通大学，2008．

[14] D.Chaum. E. Heyst. Group Signature. Advances in Cryptology-Eurocrypt'91 LNCS 547.Berlin: Soringer-Verkag.1992:257-265

[15] Camnisch J, Stadler M. Efficient and generalized group signatures[C].EUROCRYPT 1997, LNCS 1294, Berlin:Springer-Verlag, 1997: 465-479

[16] IVEST R, SHAMIR A, TAUMAN Y. How to leak a secret[C].Advances in Cryptology-Asiacrypt 2001. LNCS 2248. Berlin: Springer-Verlag.2001:552-565.

[17] 史有辉，李伟生．盲签名研究综述[J]．计算机工程与科学，2005，27(7)：83-94．

[18] 吴龚飞．安全的电子投票系统的设计与实现[J]．电脑迷，2014，7(13）：23-23．

[19] 刘彪．环签名算法研究与应用[D]．西安：西安电子科技大学，2012．

[20] 胡程瑜．环签名体制的研究[D]．济南：山东大学，2008．

[21] 田莹，李星，段海新．基于Mix．Net的电子投票系统的安全需求矛盾及解决办法[D]．北京：清华大学信息网络工程研究中心，2006．

[22] 张文芳，熊丹，王小敏．基于关联环签名的抗第三方欺诈安全电子投票方案[J]．西南交通大学学报，2015，50(5)：906-941．

[23] 徐紫枫，曾康，周福才．基于时间释放加密和数字签名的匿名电子投票方案[J]．计算机应用与软件，2016,33(12)．

[24] 石培荣．一种高安全的电子投票系统的设计与实现[D]．成都：电子科技大学，2014．

[25] 王永恒，徐晨，陈经纬，吴文渊．基于HElib的安全电子投票方案[J]．计算机应用研究，2016，33：1-9．

[26] 范曦，魏评．电子投票系统安全问题的分析与研究[J]．数字技术与应用，2014：179-179．

[27] 王继林，伍前红，陈德人，王育民．匿名技术的研究进展[J]．通信学报，2005,26(2)：112-118．

[28] 张文芳，熊丹，王小敏，陈桢，刘旭东．基于RSA公钥密码体制的可选择可转换关联环签名[J]．2017，40(5)：1168.1180．

[29] 徐秋亮．改进门限RSA数字签名体制[J]．计算机学报，2000，23(5)：449-453．

[30] 刘莉，金正平．一个基于RSA的无证书多重签名方案[J]．四川大学学报，2016，48(2):162-168．

# 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得四川大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

本学位论文成果是本人在四川大学读书期间在导师指导下取得的，论文成果归四川大学所有，特此声明。

学位论文作者（签名） \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017年12月 15 日

论文指导教师（签名） \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017年12月 15 日

# 致 谢

首先感谢的是父母和亲人的支持，能够让我接受很好的教育，能够在大学校园中学习先进的知识。其次，要感谢指导老师左航老师，是她在项目开发过程中时刻的关注项目进度，并进行疑难解答，在论文的撰写过程中，提供耐心的指导和帮助。同时，要感谢我在实习的公司和导师，让我有机会接触企业级开发过程中用到的技术，奠定了本项目的技术基础。最后，感谢在大学生活中遇到的所有对我有帮助和启发的老师和同学。

# 附录1 任务申请书

现在已经迈入了互联网时代，各大互联网巨头拥有很多用户量巨大的产品。这些产品往往由很多项目组成，这些项目或者服务往往也需要进行彼此调用，或者说通信。所以，各种远程过程调用技术得到了很大的发展，其中著名的有Google开源的grpc框架和Facebook开源的Thrift框架。

RPC技术通俗的来讲就是，即使不处于同一台主机，服务之间也能够进行相互调用。简单的说来就是，这一台主机上的代码能够调用那一台主机上的函数或者方法。因为不是出于同一台机器，所以拥有的内存空间是不同的，这就需要进行数据的传输。RPC解决的主要就是这个问题。

在远程过程调用中，因为数据要通过网络进行传输，所以需要进行消息的序列化，将其变为字节之后再传输到另一端。到达另一台机器之后，需要将字节再转换为消息对象，这就是消息的反序列化。在本项目中，设想使用多种序列化协议，比如使用Java提供的原生序列化机制，以及现在开源的第三方序列化框架。Java的原生序列化机制可能对于开发人员来讲比较简单，但是效率会比较低，在性能上可能也会有缺陷，所以猜想使用第三方序列化框架可能解决这些问题。

在实际的项目开发过程中，使用RPC可以说是非常常见的，其作用也是非常巨大的。正是基于在实际的开发工作中大量的使用RPC框架和Netty，才有了开发一个RPC服务器的想法。对于开发人员来讲，往往能够使用某种技术是往往不够的，最好的是能够了解其工作机制和原理，这样才能对技术的深层次应用更有信心。

# 附录2 可行性研究报告

## 引言

**1.1编写目的**

目的是为了研究对与项目功能的实现是否具有可行性。

预期读者：本文档的预期读者是开发工程师、测试工程师、RPC框架的使用者、RPC框架学习人员等。

**1.2背景**

开发软件名称：基于Netty的高性能RPC服务器的设计与实现

项目任务提出者：邹绿洲

项目开发者：邹绿洲

用户：需要进行RPC服务的开发人员、对RPC开发有兴趣的研究人员

实现软件单位：邹绿洲

项目与其他软件，系统的关系：

本项目使用Java语言进行编写，网络通讯框架使用的是Netty；消息序列化和反序列化使用的是Java提供的原生序列化、Kryo、Hessian等，对象池技术使用的是Apache commons-poo2包提供的开源框架；项目构建工具使用的是gradle。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 可行性研究

**2.1 消息序列化和反序列化的可行性**

首先Java语言本身提供了序列化和反序列化机制，提供了简单易实现的接口，对于开发人员来讲比较简单。其次，对于原生序列化效率不高等问题，可以使用第三方的开源序列化框架，这些序列化框架本身得到了很多项目的检验，还有有完整的文档可供学习。所以，对于消息的序列化和反序列化来讲是可以实现的。

**2.2 Netty进行网络通讯的可行性**

Netty作为目前优秀的网络应用框架，其本身是基于NIO的，NIO的缺点在于开发人员很难将其作用完美的发挥出来，而Netty相当于再次封装了NIO，便于开发人员的使用。现在很多著名的开源项目都是基于Netty的，比如大名鼎鼎的Spark，Dubbo等，这些项目都有完善的文档和代码可供学习，这为Netty的实践提供了宝贵的学习资料。另外，在项目的开发之前，已经在实际的工作中使用过Netty，对其源码和机制也有一些了解和研究。

**2.3 池化技术的可行性**

池化技术包括线程池、对象池、数据库连接池等等。本项目所依赖的对象池技术是Apache commons-poo2包提供的，在效率上得到很多项目的检验，使用也较为简单，能够为对象的池化提供比较好的保障。

# 附录3 项目开发计划

## 1 引言

**1.1编写目的**

目的是对项目进度进行安排和计划。

预期读者：本文档的预期读者是开发工程师、测试工程师、RPC框架的使用者、RPC框架学习人员等。

**1.2背景**

开发软件名称：基于Netty的高性能RPC服务器的设计与实现

项目任务提出者：邹绿洲

项目开发者：邹绿洲

用户：需要进行RPC服务的开发人员、对RPC开发有兴趣的研究人员

实现软件单位：邹绿洲

项目与其他软件，系统的关系：

本项目使用Java语言进行编写，网络通讯框架使用的是Netty；消息序列化和反序列化使用的是Java提供的原生序列化、Kryo、Hessian等，对象池技术使用的是Apache commons-poo2包提供的开源框架；项目构建工具使用的是gradle。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 2 项目开发计划

**表3.1 项目开发计划表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **任务名称** | **开始时间** | **计划完成时间** |
| **项目立项** | 2017年12月1日 | 3日 |
| 相关资料收集 | 2017年12月4日 | 5日 |
| 用户访问 | 2017年12月9日 | 2日 |
| 系统调研 | 2017年12月11日 | 2日 |
| 可行性分析 | 2017年12月13日 | 2日 |
| 制定项目计划 | 2017年12月15日 | 2日 |
| **知识积累** | 2017年12月17日 | 7日 |
| 建立开发环境 | 2017年12月23日 | 3日 |
| 相关知识学习 | 2017年12月26日 | 14日 |
| 相关工具学习 | 2018年1月11日 | 5日 |
| **需求分析** | 2018年1月16日 | 4日 |
| 需求建模 | 2018年1月20日 | 2日 |
| 编写需求规格书 | 2018年1月22日 | 2日 |
| **设计** | 2018年1月24日 | 4日 |
| 架构设计 | 2018年1月28日 | 6日 |
| 数据设计 | 2018年2月04日 | 5日 |
| 界面设计 | 2018年2月09日 | 3日 |
| 功能模块设计 | 2018年2月12日 | 6日 |
| 编写设计文档 | 2018年2月18日 | 2日 |
| 编码实现 | 2018年2月20日 | 28日 |
| **测试** | 2018年3月17日 | 3日 |
| 单元测试 | 2018年3月20日 | 1日 |
| 集成测试 | 2017年3月21日 | 1日 |
| 系统测试 | 2017年3月22日 | 1日 |
| **总结** | 2017年3月24日 | 12日 |
| 编写总结报告 | 2018年4月6日 | 12日 |

# 附录5 需求规格说明书

## 1引言

**1.1编写目的**

编写规格需求说明书的目的是对系统的功能需求进行梳理，在项目的开发过程中依据说明书进行系统的概要设计和详细设计。

预期读者：本文档的预期读者是开发工程师、测试工程师、RPC框架的使用者、RPC框架学习人员等

**1.2背景**

开发软件名称：基于Netty的高性能RPC服务器的设计与实现

项目任务提出者：邹绿洲

项目开发者：邹绿洲

用户：需要进行RPC服务的开发人员、对RPC开发有兴趣的研究人员

实现软件单位：邹绿洲

项目与其他软件，系统的关系：

本项目使用Java语言进行编写，网络通讯框架使用的是Netty；消息序列化和反序列化使用的是Java提供的原生序列化、Kryo、Hessian等，对象池技术使用的是Apache commons-poo2包提供的开源框架；项目构建工具使用的是gradle。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 2任务概述

**2.1目标**

基于Netty设计一个高效的RPC服务器，选择多种序列化协议进行消息的序列化和反序列化，使用对象池技术等池化技术改善RPC服务器的性能。

**2.2用户的特点**

需要在项目开发过程中使用RPC服务器的开发人员

**2.3假定和约束**

无。

## 3需求规定

**3.1对功能的规定**

* **JDK原生机制实现消息序列化和反序列化**

通过JDK原生的序列化机制实现消息的序列化和反序列化。

* **第三方序列化框架实现消息的序列化和反序列化**

通过引入第三方序列化框架，依据其序列化和反序列化规则，进行消息的序列化和反序列化。

* **Netty进行网络通讯**

通过网络应用框架进行Netty进行通讯，编写特定的处理器，集成编码和解码处理器。

* **对象池池化对象**

对于一些需要频繁创建和销毁的对象，使用Apache commons-poo2包提供的池化对象进行池化，提高性能。

* **RPC测试**

需要编写客户端测试代码，对RPC提供的功能进行测试，并查看输出结果。

**3.2对性能的规定**

性能需求需要考虑很多的方面，包括系统的可靠性、可移植性、可扩展性等等。对于一个软件系统来讲，下面性能需求是需要考虑的因素：

1. **明确性：**系统的功能模块是明确的，通过功能模块结构图能够快速的了解整个系统的功能。
2. **可扩展性：**在设计系统结构时，除了考虑已有的功能实现，还需要考虑系统以后的项目发展，对于系统的应用方向，应该充分的考虑其扩展的能力，已满足不同的项目需求。
3. **可移植性：**一个系统往往不止应用于一个平台，所以开发的系统往往需要考虑移植性，这样才能使其应用范围更广。幸运的是，Java本身是平台无关的的语言，本项目使用Java语言开发。

**3.3输入输出要求**

输入要求：需要调用的远程函数或者方法，发起请求

输出要求：输出RPC响应结果

**3.4数据管理能力要求（针对软件系统）**

无。

**3.5故障处理要求**

如果RPC调用出现异常，需要抛出异常。

## 4运行环境规定

**4.1设备**

无。

**4.2支持软件**

运行环境：JDK1.8、Netty 4.x

开发平台：IntelliJ IDEA

开发语言：Java

**4.3接口**

Netty网络通讯接口，第三方序列化框架接口

**4.4控制**

无。

# 附录6 用户手册概要

## 1.引言

**1.1编写目的**

目的是明确系统中需要实现的各项功能和非功能性需求，并可以此说明为根据来设计系统。同时为概要设计和详细设计提供设计依据。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、业务和需求分析人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 2用途

**2.1功能**

* 发起投票
* 匿名投票
* 查看结果
* 公开验证
* 双机热备份

**2.2性能**

无。

## 3运行环境

**3.1硬设备**

无。

**3.2支持软件**

运行环境：Windows、JDK1.8、Tomcat9

开发平台：MyEclipse

开发语言：Java、C++、HTML、CSS、JavaScript

数据库：MySQL

**3.3数据结构**

无。

## 4使用过程

**4.1安装与初始化**

**1.下载并安装JDK**

**图6.1**

**1）进入Oracle官网下载JDK**

**2）双机程序安装JDK**

**图6.2**

**3）配置环境变量**

打开“控制面板”，进入“系统和安全”，进入“系统”，进入“高级系统设置”，“环境变量”

**图6.3**

**在系统变量中添加环境变量**

JAVA\_HOME:JDK安装路径

**图6.4**

CLASS\_PATH: **.;**%JAVA\_HOME%\lib**;**%JAVA\_HOME%\lib\tools.jar(.表示当前路径)

**图6.5**

编辑已有的变量PATH，在变量值最后添加参数：**;**%JAVA\_HOME%\bin**;**%JAVA\_HOME%\jre\bin**;**。

**图6.6**

最后，在命令行中输入：java –version，如果出现如下信息，则表示配置成功

**图6.7**

**2.下载并安装Tomcat**

**1）进入Tomcat官网http://tomcat.apache.org/，在导航栏中点击相应版本，进入下载页面**

**图6.8**

根据操作系统类型，下载相应的压缩包

**图6.9**

将压缩包解压

**图6.10**

**2）配置环境变量**

新建环境变量

CATALINA\_BASE：D:\Servers\apache-tomcat-9.0.0.M20

CATALINA\_HOME：D:\Servers\apache-tomcat-9.0.0.M20

TOMCAT\_HOME：D:\Servers\apache-tomcat-9.0.0.M20

**图6.11**

**3）测试**

在“命令行窗口”中输入startup，可以看到Tomcat启动信息

**图6.12**

****

**图6.13**

在浏览器中输入**http://localhost:8080**，进入Tomcat管理页面



**图6.14**

**3.部署项目**

将项目压缩文件VoteSystem.war放入Tomcat安装路径webapp目录下面

**图6.15**

**4.运行Tomcat**

在cmd下输入命令startup，启动Tomcat

**5.运行程序LinkableRingSignature.exe**

**图6.16**

**4.2操作说明**

**1）进入网站首页**



**图6.17 网站首页**

**2）本系统针对不同场景设置了不同的投票类型，点击“开启议事投票”即可进入后台登录页面**

**图6.18 后台登录页面**

**3）登录成功后进入投票管理中心**



**图6.19 投票管理中心首页**

**4）创建投票**

点击菜单栏“创建投票”，输入投票活动信息



**图6.20 创建投票**

**5）添加候选人**

**图6.21 添加候选人**

**6）邀请选民参与投票**



**图6.22 添加选民**

# 附录7 概要设计说明书

## 1引言

**1.1编写目的**

目的是对系统进行初步设计，为详细设计提供参考。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、项目的维护人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 2总体设计

**2.1系统用例图设计**

整个系统完成的功能详见如下用例图：



**图7.1 系统用例图**

**2.2 系统流程设计**

* **系统概要流程设计**

1）投票中心在网站上创建投票，设置投票人范围；

2）网站通过注册中心的设置，向投票人发起邀请；

3）投票者通过邀请在投票中心进行匿名注册，投票中心分配给投票者用于标识唯一身份的序列码；

4）投票者发送盲化选票，投票中心为其盲签名；

****5）网站进行计票，公布信息表List1（包含用户序列码、及其签名、对消息的关联环签名、私钥对消息进行的普通个体签名、公钥），List2（身份序列码、盲化后的选票、选票的盲签名），List3（身份序列码、消盲后的选票），及选票的最终结果，接受验证。

**图7.2 系统具体流程图**

* **系统具体流程设计**

**注册阶段**

通过验证的合法投票者在网站进行匿名注册，具体步骤如下：

1）按照提前生成好的公私钥对系统进行初始化，其中公钥集合L={y1,y2,……,yn}由所有具备选举几个者公钥组成。

2）投票者Vi(1≤i≤n)利用关联环签名生成算法对消息m进行关联环签名，生成签名(C,S1,S2,……,Sn,Y)，同时为自己生成另外一对基于RSA签名体制的公私钥对，并利用其中的私钥对消息m进行普通的个体签名，最终将消息，两个签名以及自己生成的公钥一起发送给投票中心。

3）投票中心按照关联环签名验证算法，首先验证签名(C,S1,S2,……,Sn,Y)的正确性。若正确，则检查该签名中的Y值是否已存在于注册信息表List1中，如果存在，则说明Vi重复注册，拒绝此次请求；如果不存在，说明Vi为新的合法投票者。

4）如果Vi是新的合法投票者，投票中心利用收到的公钥验证普通签名是否正确。若正确，投票中心为Vi随机选取一个具有唯一标识的身份序列码Ni，并对Ni签名；若不正确，投票中心要求投票者重新发送消息。最后，投票中心将身份序列码Ni和签名结果发送给投票人Vi，同时将相关信息保存到注册信息表List1中。

5）注册结束后网站公布List1,接受公开验证。在注册公示时间内，未能在注册期及时注册的投票者可以公开注册，公布自己的签名，要求投票中心为其发放身份序列码和对应签名，并将其信息添加到List1中，同时已注册者查询List1，如果查询不到自己的注册信息，投票者可以公示自己的签名，并公开验证消息m的关联环签名和普通签名的正确性，进而要求投票中心在所有人的监督下为其发放身份序列码和对应签名，并添加投票者的相应信息于List1上。上述方法能够有效防止注册中心的不诚实行为。此外，若公示时间结束后，投票者依然没有注册，则被视为自动弃权。

**投票阶段**

在规定的投票期限内，投票者按照如下协议进行投票（只有Ni存在于List1的投票者才有权参与如下投票过程）：

1）投票者Vi首先生成电子选票Ei，然后随机选择一盲化因子对选票进行盲化。

2）Vi对选票进行签名，然后将盲化选票、Ni、选票签名发给投票中心。

3）投票中心首先检查Ni是否已经存在于投票信息表List2中。如果已经存在，说明投票者Vi重复投票，拒绝此次请求；如果不存在，验证签名的正确性。

4）若签名正确，投票中心为Vi的盲化选票进行签名，并将盲化选票和签名发送给Vi，同时将相关信息保存到投票信息表List2中；若不正确，则要求投票者重新发送。

5）投票结束后公布List2，接受公开验证。在投票公示时间内，未能在投票期间及时投票的投票者可以公开投票，公布自己的盲化选票和签名，要求投票中心为其发送签名并将其投票结果公布于List2中；同时已投票者查询List2，如果查询不到自己的投票信息，投票者可以公布自己的盲化选票和签名，在所有人的监督下，要求投票中心为其签名并发送盲签名等信息给投票者，并将其结果公布到List2中。如果公示期结束，投票者依旧没有投票，则被视为中途放弃。

**计票阶段**

1）投票人Vi将消盲后的选票公布于计票信息表List3中，网站根据List3统计并公布选举的最终结果（只有Ni存在于List2中的投票者才有权参与如下计票过程）：

2）Vi对投票中心的盲签名做消盲，进而得到投票中心对选票的签名。

3）Vi对选票Ei签名，然后将相关信息公布于List3中。任何人均可验证最终计票信息的正确性。若投票中心和投票人对投票的签名都正确，说明选票为Vi的合法投票，并且选票没有被篡改。如果Ni在List3中重复出现，说明投票者Vi重复投票，仅对其选票统计一次。

4）超过机票期限，投票者依然未将选票公布于List3中，则被视为中途弃权。

5）网站根据List3统计并公布投票的最终结果。

**2.3 网站数据处理模块设计**

****服务器数据处理模块使用C++开发，用于处理投票用户和投票中心传来的数据。结构图如下：

**图7.3 数据处理模块结构图**

数据处理模块主要完成分配公私钥对、关联环签名的签名与验证、盲签名的签名与验证、普通RSA签名的签名与验证等功能。在整个系统中发挥了至关重要的作用。

**2.4 网站设计**

Web后端使用SSH框架开发，并采用Tomcat作为服务器；主要分为投票管理中心和用户投票中心两部分。系统采用MVC架构，使用Strus2作为控制层，负责数据的处理与转发；Hibernate框架负责对象的持久化工作；Spring负责事务的管理以及对象的创建工作。Web前端使用jsp实现，并使用jQuery、BootStrap作为UI支持，使用Ajax技术提高了用户交互。



**图7.4 后台管理中心架构图**



**图7.5 用户投票中心架构图**

# 附录8 数据库设计说明书

## 1引言

**1.1编写目的**

目的是对系统的数据库结构和设计进行详细描述。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、项目的维护人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

## 2结构设计

**2.1数据库环境说明**

本系统采用的数据库Mysql，使用root用户登录数据库创建各种数据库对象。

**2.2数据表**

1. List1

**表8.1 数据表list1**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | varchar | 40 | 用户序列码 | 必要 |
| signature | varchar | 200 | 序列码签名 | 必要 |
| ring\_signature | varchar | 200 | 关联环签名 | 必要 |
| personal\_signature | varchar | 200 | 普通个体签名 | 必要 |
| public\_key | varchar | 200 | 公钥 | 必要 |

1. List2

**表8.2 数据表list2**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | varchar | 40 | 主键 | 必要 |
| blind\_vote | varchar | 200 | 序列码签名 | 必要 |
| signed\_vote | varchar | 200 | 关联环签名 | 必要 |

1. List3

**表8.3 数据表list3**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | varchar | 40 | 主键 | 必要 |
| signature | varchar | 200 | 序列码签名 | 必要 |
| ring\_signature | varchar | 200 | 关联环签名 | 必要 |
| personal\_signature | varchar | 200 | 普通个体签名 | 必要 |
| public\_key | varchar | 200 | 公钥 | 必要 |

1. 管理员信息表（admin）

**表8.4 管理员信息表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | varchar | 40 | 主键 | 必要 |
| name | varchar | 20 | 帐号 | 必要 |
| password | varchar | 50 | 密码 | 必要 |
| authority | int | 4 | 常住地址 | 必要 |
| email | varchar | 50 | 联系邮箱 | 必要 |

1. 投票信息表（voteinfo，用于保存一次投票事件的详细信息）

**表8.5 投票信息表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| title | varchar | 200 | 标题 | 必要 |
| content | varchar | 500 | 详情 | 必要 |
| create\_time | datetime | (标准日期格式) | 创建时间 | 必要 |

1. 候选名单表（voteitem）

**表8.6 候选名单表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| name | varchar | 50 | 名称 | 必要 |
| description | varchar | 500 | 简介 | 必要 |
| create\_time | datetime | (标准日期格式) | 创建时间 | 必要 |
| infoid | int | 10 | 外键（参考voteinfo.id） | 必要 |

1. 图片信息表（image，保存候选名单的图片路径）

**表8.7 图片信息表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| path | varchar | 100 | 图片路径 | 必要 |
| itemid | int | 10 | 外键（参考voteitem.id） | 必要 |

1. 投票结果表（ballot，保存投票结果）

**表8.8 数据表投票结果表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| infoid | int | 10 | 外键（参考voteinfo.id） | 必要 |
| itemid | int | 10 | 外键（参考voteitem.id） | 必要 |
| userid | varchar | 40 | 外键（参考user.id） | 必要 |

1. 选民邮箱（email，向指定选民的邮箱发起投票请求）

**表8.9 选民邮箱**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| account | varchar | 50 | 邮箱帐号 | 必要 |

1. 邮件信息表（receiver，保存已发送邮件的信息）

**表8.10 邮件信息表**

| 字段名 | 数据类型 | 长度 | 描述 | 必要性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| id | int | 10 | 主键 | 必要 |
| email | varchar | 100 | 邮箱帐号 | 必要 |
| send\_date | datetime | 标准日期格式 | 发送日期 | 必要 |
| infoid | int | 10 | 外键（参考voteinfo.id） | 必要 |

**2.3数据库逻辑设计**

**图8.1 数据库逻辑模型**

## 3运用设计

**3.1安全性设计**

**防止用户直接操作数据库的方法**

数据库只能由管理员通过后台进行访问，没有其他途径操作数据库。

**角色与权限**

本系统除数据库管理员外没有任何其他用户，因此未对用户进行角色及权限的分配，数据库管理员具有所有对象的操作权限。

# 附录9 组装测试计划

## 1引言

**1.1编写目的**

目的是安排对系统将要进行的测试，并预估测试结果，供测试人员参考。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、项目的维护人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

需求说明书

概要设计说明书

## 2计划

**2.1系统说明**

**表9.1**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **所属模块** | **测试步骤** | **预期结果** |
| 1 | 投票管理中心  注册/登录模块 | 进入后台注册页面 | 输入账号密码，注册失败给出提示信息；  注册成功后，进入后台登录页面 |
| 进入后台登录页面 | 输入正确账号密码后进入后台管理首页，否则提示：“用户名或密码错误” |
| 2 | 创建投票 | 进入创建投票活动页面 | 输入投票活动信息后，创建投票活动，在投票活动列表中显示投票活动列表 |
| 3 | 添加候选人 | 进入添加候选人页面 | 填写候选人信息，并上传候选人照片，在投票信息详情页面可以查看候选人信息 |
| 4 | 邀请选民 | 进入选民邀请页面 | 正确填写邮箱信息及上传选民信息表，邮箱发送成功后提示“发送成功”，否则提示“发送失败” |
| 5 | 选民注册 | 点击邮箱链接，进入选民注册页面 | 注册成功后，向用户提供证书，用户下载证书 |
| 6 | 选民登录 | 进入登录页面  用户上传证书 | 验证成功后进入投票中心页面 |
| 7 | 选民投票 | 选择候选人进行投票 | 投票成功后，提示用户投票成功；用户不可重复投票 |
| 8 | 数字签名 | 关联环签名模块 | 注册阶段，为用户生成关联环签名 |
| 盲签名模块 | 为选票生成盲签名 |
| 消盲阶段 | 将盲化选票消盲，还原选票信息 |

**2.2 测试内容**

**2.2.1 公私钥对产生测试**

**测试目的**

保证产生的公私钥对符合使用的条件并且不重复。

**测试用例及结果**

**表9.2**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-01-01 |
| 测试用例名称 | 公私钥对正常产生 |
| 测试用例说明 | 根据输入参与投票的人数产生相对的公私钥对 |
| 预置条件 | 通过Socket获得参与投票的人数 |
| 输入 | 参与投票的人数 |
| 预期结果 | 生成对应人数的公私钥对，并打印其中一对 |
| 实际结果 | 如图所示，正常生成五十对公私钥，并打印出其中第三十二对。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.3**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-01-02 |
| 测试用例名称 | 公私钥对无重复情况 |
| 测试用例说明 | 根据输入参与投票的人数产生相对的公私钥对，验证公私钥对中是否存在重复数据。 |
| 预置条件 | 通过Socket获得参与投票的人数 |
| 输入 | 参与投票的人数 |
| 预期结果 | 生成对应人数的公私钥对，并验证是否有数据重复的情况。 |
| 实际结果 | 如图所示，将生成的存放公私钥对的向量先进行去重，然后查看向量的大小，如果向量大小不变，则证明不存在数据重复的情况。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**测试描述**

产生的公私钥对满足公私钥对性质，可正常用于之后的关联环签名。

**2.2.2 关联环签名正确签名验证测试**

**测试目的**

保证关联环签名符合电子投票系统的安全需求。

测试用例及结果

**表9.4**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-01 |
| 测试用例名称 | 关联环签名正常运行 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在投票人签名后经过投票中心验证为合法投票人 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.5**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-02 |
| 测试用例名称 | 关联环签名签名私钥异常 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在投票人签名阶段使用了他人私钥 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.6**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-03 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时公钥异常 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段疏漏了部分签名人 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.7**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-04 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时公钥异常 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段公钥环中有数据遭到修改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.8**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-05 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时参数错误 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段参数C遭到修改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.9**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-06 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时参数错误 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段参数Y遭到修改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.10**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-07 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时参数错误 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段参数向量S有值遭到修改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.11**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-02-08 |
| 测试用例名称 | 关联环签名验证时消息异常 |
| 测试用例说明 | 关联环签名在验证阶段传入的消息遭到修改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要签名的消息 |
| 预期结果 | 投票中心验证为非合法投票人 |
| 实际结果 | 如图所示，关联环签名通过投票中心的验证为非合法投票人。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**测试描述**

关联环签名中，投票中心可以在不知道投票人身份的情况下确认他的合法身份，如果签名验证中出现异常和篡改，则确认为非合法投票人。

**2.2.3 普通RSA数字签名正确签名验证测试**

（1）测试目的

保证普通RSA数字签名符合电子投票系统中数据传输的安全需求。

（2）测试用例及结果

**表9.12**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-03-01 |
| 测试用例名称 | 普通RSA数字签名正常运行 |
| 测试用例说明 | 在消息传递的过程中对消息签名，并在接收消息方进行验证，确认没有被篡改。 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要传递的消息 |
| 预期结果 | 验证成功 |
| 实际结果 | 如图所示，消息确认未被篡改。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.13**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-03-02 |
| 测试用例名称 | 普通RSA数字签名接收方消息被篡改 |
| 测试用例说明 | 普通RSA数字签名验证阶段的消息与签名时不符 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要传递的消息 |
| 预期结果 | 验证失败 |
| 实际结果 | 如图所示，验证失败，证明数据被篡改。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.14**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-03-03 |
| 测试用例名称 | 普通RSA数字签名接收方签名异常 |
| 测试用例说明 | 普通RSA数字签名验证阶段的签名发生错误 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 投票人需要传递的消息 |
| 预期结果 | 验证失败 |
| 实际结果 | 如图所示，验证失败。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

1. 测试描述

为保证系统中信息传递的安全，在信息传递过程中均使用普通RSA数字签名，防止信息被篡改。

**2.2.4 盲签名正确签名验证测试**

1. 测试目的

保证选票盲签名符合电子投票系统中的安全需求。

1. 测试用例及结果

**表9.15**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-04-01 |
| 测试用例名称 | 盲签名过程正常运行 |
| 测试用例说明 | 首先投票人对选票盲化，投票中心对盲化选票签名，之后投票人对选票消盲 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 选票信息 |
| 预期结果 | 盲签名成功，选票未被篡改 |
| 实际结果 | 如图所示，盲签名成功，选票前后信息一致，确认未被篡改。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.16**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-04-02 |
| 测试用例名称 | 盲签名过程盲化选票被修改 |
| 测试用例说明 | 在数据传输时盲化选票被篡改 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 选票信息 |
| 预期结果 | 盲签名失败 |
| 实际结果 | 如图所示，盲签名失败，同时消盲后可见选票信息前后不一致。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.17**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-04-03 |
| 测试用例名称 | 盲签名过程盲化签名被修改 |
| 测试用例说明 | 在数据传输时签名被修改，投票中心无法确认选票的真实性 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 选票信息 |
| 预期结果 | 盲签名失败 |
| 实际结果 | 如图所示，盲签名失败，投票中心验证这不是自己签署的选票。 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

1. 测试描述

为保证投票人和投票中心都能验证选票信息未被篡改的同时，也能对选票信息保密，使用盲签名操作选票，并确认该过程的安全性。

**2.2.5 Web后台管理中心测试**

1. 测试目的：

保证后台管理中心正常运行

1. 测试用例及结果

**表9.18**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-01 |
| 测试用例名称 | 后台登录测试 |
| 测试用例说明 | 管理员登录后台 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 用户名及密码 |
| 预期结果 | 用户名和密码匹配则进入后台，否则给出错误提示信息。 |
| 实际结果 | 1.登录失败页面    2.登录成功后跳转页面 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.19**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-02 |
| 测试用例名称 | 后台登录测试 |
| 测试用例说明 | 创建投票信息 |
| 预置条件 | 无 |
| 输入 | 填写投票信息 |
| 预期结果 | 在用户填写所有表单并点击提交按钮之后，进入投票管理页面并显示所创建的投票内容 |
| 实际结果 | 1.创建投票信息    2.点击提交后进入投票管理页面 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.20**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-03 |
| 测试用例名称 | 编辑投票信息 |
| 测试用例说明 | 修改已有投票的信息 |
| 预置条件 | 在已有的投票信息基础上进行编辑 |
| 输入 | 修改投票信息 |
| 预期结果 | 在用户填写所有表单并点击提交按钮之后，进入投票管理页面并显示修改的投票内容 |
| 实际结果 | 1.修改投票信息    2.点击提交后进入投票管理页面 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.21**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-04 |
| 测试用例名称 | 查看投票信息 |
| 测试用例说明 | 查看投票信息的详细内容 |
| 预置条件 | 在已有的投票信息基础上进行查看 |
| 输入 | 点击“详情”按钮 |
| 预期结果 | 显示投票信息详细内容 |
| 实际结果 | 1.若无数据，给出提示信息    2.若有数据，显示内容 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.22**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-05 |
| 测试用例名称 | 添加候选项目 |
| 测试用例说明 | 为投票内容添加候选项目 |
| 预置条件 | 在已有的投票信息基础上进行添加 |
| 输入 | 点击“添加数据”按钮 |
| 预期结果 | 将填写的数据写入数据库，如果有图片，将其相对路径填入数据库，并将文件保存在响应的文件夹下 |
| 实际结果 | 1.填写表单    2.提交后进入候选名单页面  表格显示：    图片显示：    3.数据库中插入相应数据 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.23**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-06 |
| 测试用例名称 | 添加选民 |
| 测试用例说明 | 为投票内容添加选民 |
| 预置条件 | 在已有的投票信息基础上进行添加 |
| 输入 | 填写表单  C:\Users\admin\Desktop\QQ图片20170525164105.pngQQ图片20170525164105 |
| 预期结果 | 指定选民收到投票邮件 |
| 实际结果 | 1.邮件发送后，给出提示信息    2.发送成功后，进入投票信息详情页，可以看到已经有一条收件人的信息    3.选民查看邮箱 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.24**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-07 |
| 测试用例名称 | 选民注册 |
| 测试用例说明 | 选民根据邮箱提供的链接，前往注册中心注册 |
| 预置条件 | 投票管理中心发送了投票邀请邮件 |
| 输入 | 点击链接 |
| 预期结果 | 将填写的数据写入数据库，如果有图片，将其相对路径填入数据库，并将文件保存在响应的文件夹下 |
| 实际结果 | 1.填写表单    2. 注册成功后提示：并给出UUID  3.List1中插入相应数据 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.25**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-08 |
| 测试用例名称 | 选民登录 |
| 测试用例说明 | 根据注册得到的序列码进行登录 |
| 预置条件 | 用户需先注册，得到序列码 |
| 输入 | 序列码 |
| 预期结果 | 输入错误的序列码后给出错误提示信息；输入有效地序列码后进入投票中心首页 |
| 实际结果 | 1.输入错误的序列码    2. 输入正确的序列码 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表格9.26**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-09 |
| 测试用例名称 | 开始投票 |
| 测试用例说明 | 用户进行投票 |
| 预置条件 | 用户需登录 |
| 输入 | 点击投票 |
| 预期结果 | 投票后生成对应结果信息 |
| 实际结果 | 1.进入投票页面    2. 点击投票 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

**表9.27**

|  |  |
| --- | --- |
| 测试用例ID | LR-05-10 |
| 测试用例名称 | 结果查看 |
| 测试用例说明 | 查看投票结果 |
| 预置条件 | 用户需登录 |
| 输入 | 无 |
| 预期结果 | 得到用户投票的信息 |
| 实际结果 | 1.用户个人投票信息    2. 结果统计 |
| 结果分析 | 测试通过 ； 测试未通过 🞏 |

# 附录10 详细设计说明书

## 1引言

**1.1编写目的**

目的是对系统每一个模块的实现进行详细的设计。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、项目的维护人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

需求说明书

概要设计说明书

## 2详细设计

**2.1网站数据处理模块实**

**2.2.1 BlindSignature（盲签名算法部分）**

* **盲签名算法实现**

一个盲签名体制中存在两个参与实体：一个是消息拥有者，另一个是签名人。

**图10.1 盲签名算法示意图**

盲签名方案一般有如下六个阶段：

(1) 初始化阶段。一个概率多项式时间算法，输入安全参数，输出签名人的公私钥对（pk,sk）,私钥sk由签名人保密，公钥对公开。

(2) 盲化阶段。消息拥有者引入盲化因子T，对消息M进行盲化处理，得到盲化后的消息，并将发送给签名人。

(3) 盲化签名阶段。一个概率多项式时间的交互协议，签名人用私钥sk对盲化后的消息进行盲化签名，得到盲化后的签名，并将发送给消息拥有者。

(4) 盲化验证阶段。消息拥有者用公钥pk和盲化后的消息对盲化后的签名进行盲化验证，记作，输出“1”（表示签名有效），“0”（表示签名无效）。

(5) 去盲阶段。若盲化验证阶段输出“1”，说明签名有效，消息拥有者用盲化因子T，消息M和公钥pk对盲化后的签名进行去盲，得到签名σ。

(6) 签名验证阶段。用消息M和公钥pk对签名σ验证，记作，输出“1”（表示签名有效），“0”（表示签名无效）。

* **盲签名代码实现**

**（1）BlindBigInt类**

**表10.1 类BlindBigInt的实现**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | BlindBigInt::BlindBigInt() | 构造函数1 |
| 2 | BlindBigInt::BlindBigInt(int) | 构造函数2 |
| 3 | BlindBigInt::BlindBigInt(int,int) | 构造函数3 |
| 4 | BlindBigInt::~BlindBigInt() | 析构函数 |
| 5 | BlindBigInt::isZero() | 判断是否为0 |
| 6 | BlindBigInt::toULong() | 将数值转换成是十进制的长整型数 |
| 7 | BlindBigInt::toString() | 将数值转换成字符串 |
| 8 | BlindBigInt::toHexString() | 将数值转换成十六进制格式表示的字符串 |
| 9 | BlindBigInt::operator[]() | 获得数值特殊一位上的值 |
| 10 | BlindBigInt::operator\*() | 将两个BlindBigInt数值相乘 |
| 11 | BlindBigInt::operator\*=() | 将两个BlindBigInt数值相乘并赋值 |
| 12 | BlindBigInt::operator+() | 将两个BlindBigInt数值相加 |
| 13 | BlindBigInt::operator>=() | 比较当前BlindBigInt数值是否大于等于参数BlindBigInt数值 |
| 14 | BlindBigInt::operator>() | 比较当前BlindBigInt数值是否大于参数BlindBigInt数值 |
| 15 | BlindBigInt::operator<=() | 比较当前BlindBigInt数值是否小于等于参数BlindBigInt数值 |
| 16 | BlindBigInt::operator<() | 比较当前BlindBigInt数值是否小于参数BlindBigInt数值 |
| 17 | BlindBigInt::operator/() | 将两个BlindBigInt数值相除 |
| 18 | BlindBigInt::operator==() | 判断两个BlindBigInt数值是否相等 |
| 19 | BlindBigInt::operator%() | 将两个BlindBigInt数值取余 |
| 20 | BlindBigInt::operator<<=() | 对BlindBigInt数值做左移位操作 |
| 21 | BlindBigInt::operator|=() | 将两个BlindBigInt数值做或位操作 |
| 22 | BlindBigInt::operator&=() | 将两个BlindBigInt数值做和位操作 |
| 23 | BlindBigInt::operator-() | 将两个BlindBigInt数值相减 |
| 24 | modPow() | x^ymodm |
| 25 | binToHex() | 将十进制字符串转换为十六进制字符串 |
| 26 | bitset::add() | 做位相加操作 |
| 27 | bitset::subtract() | 做位相减操作 |

**（2）BlindRSA类**

**（a）实现欧拉函数的变量**

**表10.2 实现欧拉函数的变量**

| 编号 | 变量 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 1 | Int p,q | 十七位的随机数,p!=q |
| 2 | BlindBigIntn | n=p\*q |
| 3 | BlindBigIntphi | Phi=(p-1)(q-1) |
| 4 | BlindBigInte | gcd(e,phi)==1 |
| 5 | BlindBigIntd | [e\*d==1]mod n |

**(b)实现欧拉函数的函数**

**表10.3 实现欧拉函数的函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | BlindRSA::BlindRSA() | 构造函数1 |
| 2 | BlindRSA::BlindRSA(int) | 构造函数2 |
| 3 | BlindRSA::BlindRSA(int,int) | 构造函数3 |
| 4 | BlindRSA::~BlindRSA() | 析构函数 |
| 5 | BlindRSA::GetPHI() | 返回变量phi |
| 6 | BlindRSA::getP() | 返回变量p |
| 7 | BlindRSA::getQ() | 返回变量q |
| 8 | BlindRSA::getPublicKey() | 返回公钥 |
| 9 | BlindRSA::getPrivateKey() | 返回私钥 |
| 10 | BlindRSA::getModulus() | 返回modulus=p\*q |
| 11 | BlindRSA::setPublicKey(unsignedint) | 设置公钥 |
| 12 | BlindRSA::setPublicKey(BlindBigInt) | 设置公钥 |
| 13 | BlindRSA::encrypt() | 加密 |
| 14 | BlindRSA::decrypt() | 解密 |
| 15 | BlindRSA::modInverse() | 反向取余 |
| 16 | BlindRSA::isPrime() | 素数验证 |
| 17 | BlindRSA::isPrimeMR() | 素数验证 |
| 18 | BlindRSA::isPrimeDiv() | 素数验证 |
| 15 | BlindRSA::gcd(int,int) | Euclidean算法 |
| 16 | BlindRSA::gcd(BlindBigInt,BlindBigInt) | Euclidean算法 |

**2.2.2 LinkableRingSignature（关联环签名部分）**

* **关联环签名算法实现**

**(1) 结合函数（combiningfunction）**

结合函数环签名方案中的一个重要组成部分。

定义为结合函数，其中，k是输入，v是随机选取的初始值，是上的任意值，输出z是上的值。

选定k和v的值后，结合函数有以下的特点：

a) 对于每个s,，以及其他给定输入，方程，是从到输出z的一一映射。

b) 对于每个s,，给定一个b比特长读的值z，和除以外的所有的值，可以求解满足的b比特长度值。

c) 如果一个攻击者不能你想求解陷门方程中的某个方程，那么给定k , v和z,它就很难根据求解中的任何一个值。

d) 结合算数为以下形式：

其中定义为。

e) 只要输出z与v相等，该方程的计算过程就会连成一个环形，这也是环签名名称的由来。



**图10.2 环签名示意图**

**2）参数初始化**

设q是一个素数，是q阶子群,在G中求解离散对数问题是困难的。，是的单向散列函数。对i=1,2，...，n，每一用户拥有的私钥对，且。

**3) 签名生成**

设消息，公钥集合为，签名者私钥为，对应公钥为，其中，利用如下算法产生关联环签名：

a) 计算和，然后选择，计算。

b) 对，选择，计算。

c) 计算。

d) 最后，输出签名。

**（1）签名验证**

验证者受到关于m及L的签名后，按如下步骤验证签名的正确性：

a)计算，然后对于计算，，，。

b) 检验是否成立，如果成立，则接受签名，否则拒绝此签名。

* **关联环签名代码实现**

**(1) CommonFunction类**

**表10.4 类CommonFunction实现**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | CommonFunctions::GetGroupParameters() | 获得群参数 |
| 2 | CommonFunctions::IntegerToString() | 将CryptoPP::integer转为字符串 |
| 3 | CommonFunctions::GenerateString() | 将向量中的各值转为字符串 |
| 4 | CommonFunctions::Hash1() | SHA1哈希函数 |
| 5 | CommonFunctions::Hash2() | SHA2哈希函数 |

**(2) LinkableRingSignProver类**

**a) 实现的变量**

**表10.5 LinkableRingSignProver变量**

| **编号** | **变量** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | Integer\_private\_key | 私钥 |
| 2 | unsignedint\_self\_identity | 当前环成员 |
| 3 | unsignedintnum\_members | 环成员人数 |
| 4 | Integerg | 群 |
| 5 | Integerq | 群序 |
| 6 | stringm | 签名消息 |
| 7 | vector<Integer>public\_keys | 公钥向量 |
| 8 | IntegerC | 关联环参数 |
| 9 | IntegerY | 关联环参数 |
| 10 | vector<Integer>S | 关联环参数 |

**b) 实现的函数**

**表10.6 LinkableRingSignProver函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | LinkableRingSignProver::LinkableRingSignProver() | 构造函数 |
| 2 | LinkableRingSignProver::GenerateSignature() | 产生签名 |
| 3 | GeneratePublicPrivateKeys() | 产生公私钥对 |

**(3) LinkableRingSignVerifier类**

1. **实现的变量**

**表10.7 LinkableRingSignVerifier变量**

| 编号 | 变量 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 1 | IntegerC | 关联环参数 |
| 2 | IntegerY | 关联环参数 |
| 3 | vector<Integer>S | 关联环参数 |
| 4 | unsignedintnum\_members | 环成员人数 |
| 5 | Integerg | 群 |
| 6 | Integerp | 素数 |
| 7 | Integerq | 群序 |
| 8 | stringm | 签名消息 |
| 9 | vector<Integer>public\_keys | 公钥向量 |

1. **实现的函数**

**表10.8 LinkableRingSignVerifier函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | LinkableRingSignVerifier::LinkableRingSignVerifier() | 构造函数 |
| 2 | LinkableRingSignVerifier::VerifySignature() | 验证函数 |

**2.2.3 NormalRSASignature（普通RSA数字签名部分）**

* **普通RSA数字签名算法实现**

数字签名是签名者的利用自己私钥对消息进行加密生成的签名，验证者利用签名者公钥进行解密验证签名的一种密码技术。

数字签名体制一个数字签名体质主要由下列部分构成：

(1) 一个明文消息空间M：所有待签名的消息组成的集合；

(2) 一个签名空间Ω：所有签名形成的集合；

(3) 一个签名密钥空间K:所有的可能用于生成签名的密钥的集合；

(4) 一个认证密钥空间：所有的可能由于验证签名的密钥结合；

(5) 一个有效的密钥生成算法，其中K和为（3）中定义，N为安全参数空间，当输入安全参数空间N内的一个安全参数时，算法Gen在多项式时间内生成一对公私钥对；

(6) 一个有效的签名算法，对于消息空间M内的一个给定的消息，算法Sign利用算法Gen生成的签名密钥，在多项式时间内生成一个有效签名；

(7) 一个有效的验证算法，对于给定的消息和算法Sign生成的签名，利用算法Gen生成的验证密钥验证签名的正确性。

(8) 对任意的和任意的表示σ是用密钥sk生成的m的签名。

(9) 对于任意的私钥，用pk表示与sk相对应的公钥，则对应于和必有

* **普通RSA数字签名代码实现**

**（1）normalSign类**

**a) 实现的变量**

**表10.9 类normalSign的变量**

| **编号** | **变量** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | stringm | 消息 |
| 2 | AutoSeededRandomPool | 随机种子参数 |
| 3 | IntegerN,P,Q,D,E | RSA签名参数 |
| 4 | stringencoded | 解密字符串 |
| 5 | boolresult | 验证签名结果 |
| 6 | InvertibleRSAFunction | RSA签名钥对 |

**b) 实现的函数**

**表10.10 类normalSign的函数**

| **编号** | **函数名** | **说明** |
| --- | --- | --- |
| 1 | normalSign::normalSign() | 构造函数 |
| 2 | normalSign::getNormalRSASignature() | RSA数字签名 |
| 3 | normalSign::verifyNormalRSASignature() | RSA数字签名验证 |

**2.2 Web后台设计**

后台采用SSH（spring，struts2，Hibernate）框架；spring负责事务管理；struts2为控制层，负责处理前端页面提交的数据，并返回相应的结果；Hibernate负责对象的持久化映射。详细实现如下所示：

1. **Action层**
2. AdminLoginAction
3. 所用变量表

**表10.11 实现AdminLoginAction变量**

| 名称 | 数据类型 | 属性 |
| --- | --- | --- |
| admin | Admin | private |
| result | String | private |

1. 所用函数表

**表10.12 实现AdminLoginAction函数**

| 函数名 | 参数 | 返回类型 |
| --- | --- | --- |
| AdminLoginAction | void | void |
| getResult | void | String |
| getAdmin | void | Admin |
| setAdmin | Admin | void |
| execute | void | String |

响应管理员登录事件：当管理员登录后台时，此action查询该管理员帐号密码是否存在于数据库中；如果存在则验证通过，进入后台管理页面，反之向前端页面发出错误提示信息，要求用户重新输入账号密码。

1. **RegisterAction**
2. 所用变量表

**表10.13 实现RegisterAction变量**

| 名称 | 数据类型 | 属性 |
| --- | --- | --- |
| user | User | private |
| info | VoteInfo | private |

1. 所用函数表

**表10.14 实现RegisterAction函数**

| 函数名 | 参数 | 返回类型 |
| --- | --- | --- |
| RegisterAction | void | void |
| getUser | void | User |
| setUser | User | void |
| getInfo | void | VoteInfo |
| setInfo | VoteInfo | void |
| register | void | String |

1. LoginAction
2. 所用变量表

**表10.15 实现LoginAction变量**

| 名称 | 数据类型 | 属性 |
| --- | --- | --- |
| user | User | private |
| uuid | String | private |

1. 所用函数表

**表10.16 实现LoginAction函数**

| 函数名 | 参数 | 返回类型 |
| --- | --- | --- |
| getUuid | void | String |
| setUuid | String |  |
| getUser | void | User |
| setUser | User | void |
| login | void | String |
| checkUuid | void | boolean |

响应用户登录事件：用户持有唯一的身份序列码（uuid），用户通过此uuid进行登录，此action查询数据表List1中是否存在该uuid，如果存在则登录成功。

1. **AddVoteitemAction**
2. 所用变量表

**表10.17 实现AddVoteitemAction变量**

| 名称 | 数据类型 | 属性 |
| --- | --- | --- |
| info | VoteInfo | private |
| item | VoteItem | private |
| upload | File | private |
| uploadFileName | String | private |
| uploadContentType | String | private |
| savePath | String | private |

1. 所用函数表

**表10.18 实现AddVoteitemAction函数**

| 函数名 | 参数 | 返回类型 |
| --- | --- | --- |
| getInfo | void | VoteInfo |
| setInfo | VoteInfo | void |
| getItem | void | Item |
| setItem | Item | void |
| getUpload | void | File |
| setUpload | File | boolean |
| getUPloadFileName | void | String |
| setUPloadFileName | String | void |
| getUploadContentType | void | String |
| setUploadContentType | String | void |
| getSavePath | void | String |
| setSavePath | String | void |
| addVoteItem | void | String |

添加候选名单：主要负责文件上传以及保存管理员添加的候选名单。通过struts2的标签<s:file/>，将文件保存在属性upload中，uploadFileName保存图片名称，uploadContentType保存文件类型，savePath保存文件存放的路径。

方法addVoteItem()负责文件的保存与数据的持久化。

1. ServiceAction
2. 所用变量表

**表10.19 实现ServiceAction函数**

| 名称 | 数据类型 | 属性 |
| --- | --- | --- |
| info | VoteInfo | private |
| item | VoteItem | private |
| sender | Email | private |
| text | Text | private |

1. 所用函数表

**表10.20 实现ServiceAction函数**

| 函数名 | 参数 | 返回类型 |
| --- | --- | --- |
| getText | void | Text |
| setText | Text | void |
| getSender | void | Email |
| setSender | Email | void |
| getItem | void | VoteItem |
| setItem | VoteItem | void |
| getInfo | void | VoteInfo |
| setInfo | VoteInfo | void |
| getVoteItem | void | String |
| getEmails | void | String |
| setEmails | String | void |
| createVoteInfo | void | String |
| getVoteInfo | void | String |
| deleteVoteInfo | void | String |
| editVoteInfo | void | String |
| getSendEmail | void | String |

1. 主要负责的后台业务

**表10.21 ServiceAction主要负责的后台业务**

| 属性/方法 | 作用/工作 |
| --- | --- |
| info:VoteInfo | 存储投票信息 |
| item:VoteItem | 存储候选项目 |
| sender:Email | 存储发件人邮箱 |
| text:Text | 存储邮件内容 |
| createVoteInfo() | 创建投票 |
| getVoteInfo() | 获取投票信息列表 |
| deleteVoteInfo() | 删除投票信息 |
| editVoteInfo() | 编辑投票信息 |
| getEmail() | 获取数据库存储的邮箱列表 |
| getSendEmail() | 获取一发送的邮件列表 |
| sendEmails() | 发送邮箱 |

1. VoteAction

**表10.22 实现VoteAction**

|  |  |
| --- | --- |
| 属性/方法 | 作用/功能 |
| itemid:int | 候选名单 |
| vote() | 获取用户投票信息，并将处理后的数据存入数据库 |

1. **DAO（数据访问对象）层**

**表10.23 数据访问对象层的实现**

| 类名 | 功能 |
| --- | --- |
| AdminDao.java | 注册功能操作 |
| Email.java | 邮件功能操作 |
| ListDao.java | 列表功能操作 |
| ReceiverDao.java | 接受功能操作 |
| VoteDao.java | 选举功能操作 |

该层主要负责数据的CRUD操作，通过Hibernate的SessionFactory生成一个与数据库的session会话，由该session开启一个事务，在该事务内实现相应的增删改查操作。由于各个类的功能大同小异，这里不再多做赘述。

1. **util层（工具类）**

**表10.24 相关工具的实现**

| 类名 | 功能 |
| --- | --- |
| Base64Util.java | 将数据进行Base64编码以及解码工作，为邮件发送提供数据处理服务 |
| DateUtil.java | 获取系统当前时间并进行格式化 |
| EmailUtil.java | 邮件发送工具类，通过jmail提供的smtp服务发送邮件 |
| FileUpload.java | 文件上传工具类，将上传的文件保存到本地。 |
| GenerateUUID.java | 为新注册的用户生成一个uuid |
| HibernateUtil.java | SessionFactory以及Session的创建工具类 |
| TCPUtil.java | TCP客户端工具类，对每一次与C++代码的交互建立一次TCP连接，并发送和接收相应的数据。 |

# 附录11 模块开发说明

## 1引言

**1.1编写目的**

目的是对之前设计的系统各个模块进行实现。

预期读者：本文档的预期读者为指导老师、项目的开发人员、项目的维护人员、测试人员、用户文档编写者、项目管理人员，也适用于客户。

**1.2背景**

开发软件名称：基于关联环签名的安全电子投票系统

项目任务提出者：韩镓维，许勤昆，凌雪，唐钰葆

项目开发者：许勤昆

用户：所有需要开展投票活动的单位或个人

实现软件单位：许勤昆

项目与其他软件，系统的关系：

本项目采用C++实现数字签名部分（关联环签名，盲签名等）；采用MySQL来实现数据库；

网站后端采用SSH框架，前端采用BootStrap以及jQuery等框架。

**1.3定义**

无。

**1.4参考资料**

《软件文档写作教程》电子工业出版社 主编：马平、黄冬梅

需求说明书

概要设计说明书

## 2模块开发情况表

**2.1 数据处理模块主要代码**

**2.1.1 BlindRSA**

**代码清单11.1 BlindRSA.cpp**

|  |
| --- |
| namespace RSAUtil  {  #define A\_MAX 25  #define RAND\_LIMIT 0xFFFF    BlindRSA::BlindRSA(int p1, int q1){  BlindRSA::e = 0;  BlindRSA::d = 0;  BlindRSA::p = p1;  BlindRSA::q = q1;    srand(time(0));  BlindRSA::n = BlindBigInt(BlindRSA::p)\*BlindBigInt(BlindRSA::q);  BlindRSA::phi = BlindBigInt(((BlindRSA::p) - 1))\*BlindBigInt(((BlindRSA::q) - 1));  }  BlindRSA::BlindRSA(int p1){  bool isP;  BlindRSA::e = 0;  BlindRSA::d = 0;  BlindRSA::p = p1;    srand(time(0));    //Find q that is prime and not equal to p. Check that p!=q first  do{  BlindRSA::q = int(((double)std::rand() / RAND\_MAX)\*RAND\_LIMIT);  //set the low bit and high bit.  BlindRSA::q = BlindRSA::q | 0x10001;  isP = isPrime(BlindRSA::q);    } while ((BlindRSA::p == BlindRSA::q) || !isP);      BlindRSA::n = BlindBigInt(BlindRSA::p)\*BlindBigInt(BlindRSA::q);  BlindRSA::phi = BlindBigInt(((BlindRSA::p) - 1))\*BlindBigInt(((BlindRSA::q) - 1));    }  BlindRSA::BlindRSA()  {  bool isP;  BlindRSA::e = 0;  BlindRSA::d = 0;    //find p & q, s.t. p!=q && p and q are both prime.  srand(time(0));    do{  BlindRSA::p = int(((double)std::rand() / RAND\_MAX)\*RAND\_LIMIT);    // Set low bit (for oddness) and high bit (to make sure it is large enough).  BlindRSA::p = BlindRSA::p | 0x10001;  isP = isPrime(BlindRSA::p);  }while(!isP);    //Find q that is prime and not equal to p. Check that p!=q first since  //that is the easier check.  do{  BlindRSA::q = int(((double)std::rand() / RAND\_MAX)\*RAND\_LIMIT);  //set the low bit and high bit.  BlindRSA::q = BlindRSA::q | 0x10001;  isP = isPrime(BlindRSA::q);    } while ((BlindRSA::p == BlindRSA::q) || !isP);      BlindRSA::n = BlindBigInt(BlindRSA::p)\*BlindBigInt(BlindRSA::q);  BlindRSA::phi = BlindBigInt(((BlindRSA::p) - 1))\*BlindBigInt(((BlindRSA::q) - 1));  }  BlindRSA::~BlindRSA()  {  }  void BlindRSA::setPublicKey(unsigned int pubKey){  BlindRSA::e = pubKey;  }  // The 2 functions below added by Raghunathan Srinivasan  void BlindRSA::setN(BlindBigInt B)  {  BlindRSA::n = B;  }  // overloaded function created by Raghu  void BlindRSA::setPublicKey(BlindBigInt B)  {  BlindRSA::e = B;  }  // end of code addition  int BlindRSA::getP() const{  return BlindRSA::p;  }  int BlindRSA::getQ() const{  return BlindRSA::q;  }  BlindBigInt BlindRSA::getPublicKey(){  //If e has not been set, calculate e, o/w just return it.  if (BlindRSA::e.isZero()){  calcE();  }  return BlindRSA::e;  }  BlindBigInt BlindRSA::getPrivateKey(){  //If d has not been set, calculate d, o/w just return it.  if (BlindRSA::d.isZero()){  calcD();  }  return BlindRSA::d;  }  BlindBigInt BlindRSA::getPHI() const{  return BlindRSA::phi;  }  BlindBigInt BlindRSA::getModulus() const{  return BlindRSA::n;  }  //calculates m^e mod n  BlindBigInt BlindRSA::encrypt(BlindBigInt msg){  BlindBigInt cipher;    if (BlindRSA::e.isZero()){  calcE();  }  cipher = RSAUtil::modPow(msg, BlindRSA::e, BlindRSA::n);  return cipher;  }  //calculates c^d mod n  BlindBigInt BlindRSA::decrypt(BlindBigInt cipher){  BlindBigInt message;  if (BlindRSA::d.isZero()){  calcD();  }  //Do decryption  message = RSAUtil::modPow(cipher, BlindRSA::d, BlindRSA::n);    return message;  }  /\*\* test code by raghu \*/  /\* end of test code\*/  void BlindRSA::calcE(){    //Find e such that 1 < e < PHI, and e is relatively prime to PHI  BlindBigInt r;  unsigned int high, low;  bool done = false;  BlindBigInt tempPhi;  tempPhi = BlindRSA::phi;    while(!done){  //need to generate a 32-34 bit random number.  //generate 32 bit random num.  //add 33rd bit. either 0,1,or 2.  low = int(((double)std::rand()/RAND\_MAX)\*0xFFFFFFFF);  high = int(((double)std::rand()/RAND\_MAX)\*0x02);  r = BlindBigInt(high, low);    //Make sure r is in the middle 2/3 of PHI.  if ((r>(BlindRSA::phi / 6)) && r<((BlindRSA::phi / 6) \* 5)){  r |= 0x01;  done = (gcd(BlindRSA::phi, r) == 1);  }  }//end while loop.  BlindRSA::e = r;  }  void BlindRSA::calcD(){  //Find d such that de = 1 (mod PHI). d exists if e and PHI are relatively prime.  BlindBigInt response;    if (BlindRSA::e.isZero()){  calcE();  }    response = modInverse(BlindRSA::e, BlindRSA::phi);  BlindRSA::d = response;  }  //Composite testing.  bool isPrime(int p){    bool isP;  //Check if it is divisible by a small prime.  isP = isPrimeDiv(p);  //If it isn't, check for primality using Miller-Rabin algorithm.  if(isP){  isP = isPrimeMR(p);  }  return isP;    }  bool isPrimeMR(int p){    unsigned int a, b, m, j, tempPow2, pow2;  bool maybePrime = true;  BlindBigInt z;  //Easy check.  if(p == 2){  return true;  }  //Check for even numbers.  if(!(p & 0x1)){  return false;  }  //Calculate m, such that p = 1 + (pow2\*m), where pow2 is the largest power  //of 2 that divides p-1.  pow2 = 1;  tempPow2 = 2;  b = 0;  while((p-1)%tempPow2 == 0){  b++;  pow2 = tempPow2;  //multiply by 2.  tempPow2 = tempPow2 << 1;  }  m = (p-1)/pow2;  int iter = 0;  while(iter < 5 && maybePrime){  //a must be less than p.  do{  a = int(((double)std::rand()/RAND\_MAX)\* A\_MAX);  }while(a >= p);  if(a==0 || a==1){  a = 2;  }  j = 0;  z = RSAUtil::modPow(BlindBigInt(a), BlindBigInt(m), BlindBigInt(p));  if(z==1 || z==(p-1)){  //p passes. it may be prime.  maybePrime = true;  }else{  j++;  while(j<b && !(z==(p-1)) && !(z==1)){  z = modPow(z, (unsigned int)2, (unsigned int)p);  j++;  }  if(z == 1){  //p is not prime.  maybePrime = false;  }  else if(j == b && !(z == (p-1))){  //p is not prime.  maybePrime = false;  }  if(z == (p-1)){  //p may be prime.  maybePrime = true;  }  }  iter ++;  }//end while loop.    return maybePrime;  }  bool isPrimeDiv(int p){  // Test all primes < 256.  //use a wheel to generate 1st 2000 primes.  bool response = true;  int primes[] = {2,3,5,7,11,13,17,19,23,29,31,37,41,43,47,53,59,61,67,71,73,79,83,89,97,101,103,107,109,113,127,131,137,139,149,151,157,163,167,173,179,181,191,193,197,199,211,223,227,229,233,239,241,251};  int plength = sizeof(primes)/sizeof(int);    for(int i = 0; i < plength; i++){  if(p%primes[i] == 0){  response = false;  break;  }  }  return response;  }  int gcd(int i, int j){  if(j == 0){  return i;  }  else{  return gcd(j, i%j);  }  }  BlindBigInt gcd(BlindBigInt i, BlindBigInt j){  if(j==0){  return i;  }  else{  return gcd(j, i%j);  }    }  //extended Euclidean algorithm. Find b s.t. ab = 1 mod m  BlindBigInt modInverse(BlindBigInt a, BlindBigInt m){  bool neg = false;  BlindBigInt b;  BlindBigInt u1, u2, u3, v1, v2, v3, t1, t2, t3, q;  u1 = 1; u2 = 0; u3 = m;    v1 = 0; v2 = 1; v3 = a;    while(!((u3%v3).isZero())){  q = (u3/v3);  t1 = u1 - (q\*v1);  t2 = u2 - (q\*v2);  t3 = u3 - (q\*v3);  u1 = v1;  u2 = v2;  u3 = v3;  v1 = t1;  v2 = t2;  v3 = t3;    }    //v2 is neg  if (v2[BIGINT\_SIZE-1]==1){  //take 2's comp  v2.flip();  v2 = v2+1;  neg = true;  }    b = v2%m;  if(neg){  b = m-b;  }    return b;  }  } |

**2.1.2 LinkableSignProver**

**代码清单11.2 LinkableRingSignProver.cpp**

|  |
| --- |
| LinkableRingSignProver::LinkableRingSignProver(unsigned int n,  unsigned int identity, Integer g\_in, Integer p\_in,  Integer q\_in, vector<Integer> public\_keys\_in, Integer private\_key\_in):  \_private\_key(private\_key\_in),  \_self\_identity(identity),  member\_size(n),  g(g\_in), p(p\_in), q(q\_in)  {  for(vector<Integer>::iterator itr = public\_keys\_in.begin();  itr != public\_keys\_in.end(); itr++)  {  public\_keys.push\_back(\*itr);  }  }  /\*Function to generate signature.  returns updated arguments (i.e. signature : (c1, s1...sn, y))  \*/  void LinkableRingSignProver::GenerateSignature(string message, Integer &c1,  vector<Integer> &S, Integer &Y)  {  //set message  this->message = message;  //compute h = H2(L)，y = h exp privatekey  string h\_str = GenerateString(public\_keys);  Integer h(Hash2(h\_str, p, q, g).c\_str());    Integer y\_tilde = a\_exp\_b\_mod\_c(h, \_private\_key, p);  RandomPool rng;  Integer u(rng, 0, q - 1);  Integer \*ci = new Integer[member\_size];  Integer \*si = new Integer[member\_size];  string temp = GenerateString(public\_keys) + IntegerToString(y\_tilde) +  message + IntegerToString(a\_exp\_b\_mod\_c(g, u, p)) +  IntegerToString(a\_exp\_b\_mod\_c(h, u, p));  Integer b(Hash1(temp).c\_str());  ci[(\_self\_identity + 1) % member\_size] = b;    //initialise parameter for iteration  unsigned int i = (\_self\_identity + 2) % member\_size;    for(; i != \_self\_identity + 1; i = (i + 1) % member\_size)  {  int j = (i + member\_size - 1) % member\_size;  si[j] = (Integer(rng, 0, q - 1));      temp = Hash1(GenerateString(public\_keys) +  IntegerToString(y\_tilde) + message +  IntegerToString(a\_times\_b\_mod\_c(a\_exp\_b\_mod\_c(g, si[j], p),  a\_exp\_b\_mod\_c(public\_keys[j], ci[j], p), p)) +  IntegerToString(a\_times\_b\_mod\_c(a\_exp\_b\_mod\_c(h, si[j], p),  a\_exp\_b\_mod\_c(y\_tilde, ci[j], p), p)));  ci[i] = Integer(temp.c\_str());  }  //update si\_pi value (i.e. corresponding to self identity)  si[\_self\_identity] = (u % q - a\_times\_b\_mod\_c(\_private\_key,  ci[\_self\_identity], q)) % q;    //update signature parameters (input args)  S.clear();  for(unsigned int i = 0; i < member\_size; i++)  S.push\_back(si[i]);  c1 = ci[0];  Y = y\_tilde;  //free memory  delete[] ci; /\* RESPONSIBLE FOR MEMORY LEAKS!!\*/  delete[] si;  } |

**2.1.3 LinkableRingSignatureVerifier**

**代码清单11.3 LinkableRingSignatureVerifier.cpp**

|  |
| --- |
| LinkableRingSignVerifier::LinkableRingSignVerifier(unsigned int num\_members\_in,  vector<Integer> pub\_keys,  Integer q\_in, Integer p\_in,  Integer g\_in, string m\_in):  member\_size(num\_members\_in),  q(q\_in), p(p\_in), g(g\_in),  message(m\_in)  {  //clear vector  public\_keys.clear();  for(vector<Integer>::iterator itr = pub\_keys.begin();  itr != pub\_keys.end(); itr++)  {  public\_keys.push\_back(\*itr);  }    assert(public\_keys.size() != 0);  }  /\*Function to verify signature  @params: c1, s1..sn, y\_tilde -- refer algo pdf for details.  \*/  bool LinkableRingSignVerifier::verify(Integer &C, vector<Integer> &S,  Integer &Y)  {  //cout << C << endl;  string temp\_str = Hash2(GenerateString(public\_keys), p, q, g);  Integer h(temp\_str.c\_str());    // zi and zi'  Integer zi, zi\_dash;  Integer ci = C;  //cout << endl;  for(unsigned int i = 0; i < member\_size; i++)  {  zi = a\_times\_b\_mod\_c(a\_exp\_b\_mod\_c(g, S[i], p),  a\_exp\_b\_mod\_c(public\_keys[i], ci, p), p);  zi\_dash = a\_times\_b\_mod\_c(a\_exp\_b\_mod\_c(h, S[i], p),  a\_exp\_b\_mod\_c(Y, ci, p), p);  ci = Integer(Hash1(GenerateString(public\_keys) +  IntegerToString(Y) + message +  IntegerToString(zi) +  IntegerToString(zi\_dash)).c\_str());  // cout << ci << endl;  }    #ifdef DEBUG  cout << "C : " << C <<endl;  cout << "H': " << ci <<endl;  #endif  return (C == ci);  } |

**2.2 后台处理模块主要代码**

**2.2.1投票管理模块**

* **AdminAction.java**

**(1) register**

当用户进入后台投票中心注册账户时，调用此方法，该函数首先检查该账户名是否被使用，如果没有被使用则保存该用户。

**代码清单11.4 register**

|  |
| --- |
| **public** String register() **throws** Exception {  AdminDao ad = **new** AdminDao();  **if**(admin==**null** || admin.getName() == **null**) {  **this**.addActionError("请填写用户名！");  **return** ***INPUT***;  }  **if**(ad.findByName(admin.getName()) != **null**) {  **this**.addActionError("该用户已经存在！");  **return** ***INPUT***;  } **else** {  admin.setAuthority(5);  ad.save(admin);  **this**.addFieldError("register\_result", "注册成功！请登录");  }    **return** ***SUCCESS***;  } |

**(2) login**

当用户进入后台管理中心登录页面时，点击登录后调用此方法；该方法验证此用户名及密码是否匹配

**代码清单11.5 login**

|  |
| --- |
| **public** String login() **throws** Exception {  AdminDao ad = **new** AdminDao();  Map<String, Object> application = ActionContext.*getContext*().  getApplication();  **if**(admin==**null** || admin.getName() == **null**) {  **return** ***INPUT***;  }  **if**(ad.validate(admin)) {  List<Admin> list = ad.select(admin);    **if**(list == **null** || list.size() == 0) {  **this**.addActionError("用户名或密码错误！");  **return** ***INPUT***;  }    admin = list.get(0);//加载该管理员个人信息  // 设置登录次数  **if**(admin.getLoginTimes() == **null**)  admin.setLoginTimes(1);  **else**  admin.setLoginTimes(admin.getLoginTimes() + 1);  // 设置登录时间  admin.setLastLogin(DateUtil.*getDateTime*());  ad.update(admin);  application.put("admin", admin);  **if**(admin.getAuthority() == **null** || admin.getEmail() == **null** ||  admin.getId\_card() == **null** || admin.getRealname() == **null**) {  application.put("isComplete", **false**);  }  **return** ***SUCCESS***;  } **else**{  **this**.addActionError("用户名或密码错误！");  System.***out***.println("failed");  **this**.addFieldError("error", "用户名或密码错误");  **return** ***INPUT***;  }  } |

**(3) logout**

当用户注销登录时，调用此方法

**代码清单11.6 logout**

|  |
| --- |
| **public** String logout() **throws** Exception {  Map<String, Object> application = ActionContext.*getContext*().getApplication();  Admin admin = (Admin) application.get("admin");  **if**(admin == **null** || admin.getId() == **null**) {  **return** ***ERROR***;  }  AdminDao ad = **new** AdminDao();  admin = ad.findAdminById(admin.getId());  ad.update(admin);  application.put("admin", **null**);  **return** ***SUCCESS***;  } |

**(4) editAdminInfo**

编辑管理员信息，当用户修改个人信息时，调用此方法，更新被修改了的字段。

**代码清单11.7 editAdminInfo**

|  |
| --- |
| **public** String editAdminInfo() **throws** Exception {  AdminDao ad = **new** AdminDao();  Map<String, Object> application = ActionContext.*getContext*().getApplication();  System.***out***.println("adminId = " + admin.getId());  Admin oldAdmin = ad.findAdminById(admin.getId());  **if**(oldAdmin != **null**) {  **if**(admin.getAuthority() == **null**)  admin.setAuthority(oldAdmin.getAuthority());  **if**(admin.getPassword() == **null**)  admin.setPassword(oldAdmin.getPassword());  **if**(admin.getName() == **null**)  admin.setName(oldAdmin.getName());  **if**(admin.getEmail() == **null**)  admin.setEmail(oldAdmin.getEmail());  **if**(admin.getId\_card() == **null**)  admin.setId\_card(oldAdmin.getId\_card());  **if**(admin.getRealname() == **null**)  admin.setRealname(oldAdmin.getRealname());  **if** (admin.getLoginTimes() == **null**) {  admin.setLoginTimes(oldAdmin.getLoginTimes());  }  **if**(ad.update(admin)) {  System.***out***.println("更新成功");  application.put("isComplete", **true**);  application.put("admin", admin);  **return** ***SUCCESS***;  } **else** {  System.***out***.println("更新失败");  **return** ***ERROR***;  }  } **else**{  **this**.addActionError("无此用户信息");  System.***out***.println("修改失败");  **return** ***ERROR***;  }    } |

* **EmailServiceAction**

发起投票邀请，编辑邮件并发送给选民

**代码清单11.8 sendEmails**

|  |
| --- |
| **public** String sendEmails() **throws** Exception {  HttpServletRequest httpRequest = ServletActionContext.*getRequest*();  String [] emails = httpRequest.getParameterValues("email\_list");  Map request = (Map) ActionContext.*getContext*().get("request");  **if**(emails==**null** || emails.length == 0) {  request.put("resolve\_email\_info", "获取邮箱列表失败");  **return** ***ERROR***;  }    **int** infoid = info.getId();  VoteDao vd = **new** VoteDao();  VoteInfo vi = vd.findVoteInfoById(infoid).get(0);  //获取收件人邮箱  List<String> recivers = Arrays.*asList*(emails); // 避免重复存储  saveReciver(recivers);  String url = getURL(infoid);    // 编辑邮件内容  String content = "\n<h3>投票信息</h3>\n";  content += "<h4>标题：</h4>" + vi.getTitle() + "\n";  content += "<h4>内容：</h4>" + vi.getContent() + "\n";  String link = "<h4>前往注册中心<a href=\"" + url + "\"></a></h4>";  text.setContent( content + text.getContent() + link + url);  Map request\_context = (Map) ActionContext.*getContext*().get("request");    //发送邮件  **if**(EmailUtil.*sendMany*(sender, recivers, text)) {  request\_context.put("info", info);  **return** ***SUCCESS***;  }  **else** {  request.put("resolve\_email\_info", "用户名或密码错误，请重试");  **return** ***ERROR***;  }  } |

* **FileUpDownloadAction**

上传选民信息表（excel文档），解析excel表格，将用户邮箱以json格式发送到前端页面

**代码清单11.9 getUserList**

|  |
| --- |
| **public** **void** getUserList() **throws** Exception {  File file = **new** File(savePath);  **if** (!file.exists()) {  System.***out***.println("文件目录不存在,创建目录："+savePath);  **if** (file.mkdir()) {  System.***out***.println("创建目录"+savePath+"成功");  }  }  // 存储路径  String path = ServletActionContext.*getServletContext*().  getRealPath(savePath) + "\\" + uploadFileName;  // 存储文件到本地  FileUtil.*save*(upload, path);  List<User> userList = ExcelResolveUtil.*resolveExcel*(path);  List<String> emailList = **new** ArrayList<String>();  String emailStr = "";  **for** (**int** i = 0; i < userList.size(); i++) {  User user = userList.get(i);  emailList.add(user.getEmail());  emailStr += user.getEmail();  **if**(i < userList.size() - 1)  emailStr += ";";  }  HttpServletResponse response = ServletActionContext.*getResponse*();  PrintWriter writer = response.getWriter();  writer.println(emailStr);  writer.flush();  } |

* **ServiceAction**

主要涉及与投票活动相关的方法

**(1) createVoteInfo**

创建投票活动

**代码清单11.10 createVoteInfo**

|  |
| --- |
| **public** String createVoteInfo() **throws** Exception {  String type = "默认类型";  **if**(infoType != **null**) {  **if**(infoType.equals("1")) {  type = "多选一";  } **else** **if**(infoType.equals("2")) {  type = "多选多";  } **else** **if**(infoType.equals("3")) {  type = "决议投票";  } **else** {  type = "未知类型";  }    }  info.setType(type);  VoteDao vd = **new** VoteDao();  info.setCreateTime(DateUtil.*getDateTime*());  **if** (vd.save(info)) {  System.***out***.println("创建投票\""+info.getTitle() + "\"成功!");  **return** ***SUCCESS***;  } **else** {  System.***out***.println("创建投票\""+info.getTitle() + "\"失败!");  **this**.addFieldError("error", "创建投票失败");  **return** ***INPUT***;  }  } |

**(2) getVoteInfos**

获取投票活动列表

**代码清单11.11 getVoteInfos**

|  |
| --- |
| **public** String getVoteInfos() **throws** Exception {  System.***out***.println("\*\*\*getVoteInfos\*\*\*");  VoteDao vd = **new** VoteDao();  List<VoteInfo> infos = vd.findVoteInfos();  Map request = (Map) ActionContext.*getContext*().get("request");  request.put("infos", infos);  **return** ***SUCCESS***;  } |

**(3) deleteVoteInfo**

**删除投票活动**

**代码清单11.12 deleteVoteInfo**

|  |
| --- |
| **public** String deleteVoteInfo() **throws** Exception {  VoteDao vd = **new** VoteDao();  **if**(vd.delete(info.getId(),"VoteInfo")) {  System.***out***.println("删除编号：" + info.getId() + "成功");  **return** ***SUCCESS***;  } **else** {  System.***out***.println("删除编号：" + info.getId() + "失败");    **return** ***ERROR***;  }  } |

**(4) updateVoteInfo**

更新投票信息

**代码清单11.13 updateVoteInfo**

|  |
| --- |
| **public** String updateVoteInfo() **throws** Exception {  VoteDao vd = **new** VoteDao();  info.setCreateTime(DateUtil.*getDateTime*());  **if**(!vd.update(info))  **return** ***ERROR***;  **return** ***SUCCESS***;  } |

**(5) addVotePeople**

添加选民

**代码清单11.14 addVoteProplePre**

|  |
| --- |
| **public** String addVotePeoplePre() **throws** Exception {  System.***out***.println("\*\*\*addVotePeoplePre()\*\*\*");  System.***out***.println("info:" + info);  **if**(info == **null** || info.getId() == **null**) {  **return** ***ERROR***;  }  VoteDao vd = **new** VoteDao();  List<VoteInfo> infos = vd.findVoteInfoById(info.getId());  Map request = (Map) ActionContext.*getContext*().get("request");  request.put("info", infos.get(0));  **return** ***SUCCESS***;  } |

**2.2.2 用户投票模块**

* **UserAction**

**(1) login**

选民登录，选民需上传注册阶段

**代码清单11.15 login**

|  |
| --- |
| **public** String login() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  System.***out***.println("savePath:" + savePath);  System.***out***.println("uploadFileName:" + uploadFileName);  **if**(uploadFileName == **null**) {  session.setAttribute("login\_error", "请上传密钥文件！");  }  Map<String,String> parameters = **new** HashMap<String, String>();  // 读取文件内容  **if**(upload != **null**) {  InputStream is = **new** FileInputStream(upload);  BufferedReader br = **new** BufferedReader(**new** InputStreamReader(is));  String line = "";  **while** ((line = br.readLine()) != **null**) {  String[] pair = line.split(":");  **if**(pair.length == 2)  parameters.put(pair[0], pair[1]);  }  br.close();  } **else** {  System.***out***.println("File not found");  }  **if**(parameters == **null** || parameters.size() == 0) {  System.***out***.println("文件格式错误");  **return** ***INPUT***;  }  **if**(parameters.containsKey("uuid"))  uuid = parameters.get("uuid");  **if**(parameters.containsKey("infoId"))  infoId = Integer.*parseInt*(parameters.get("infoId"));  Integer keyId = **null**;  **if**(parameters.containsKey("keyId"))  keyId = Integer.*parseInt*(parameters.get("keyId"));  **if**(uuid == **null** || keyId == **null** || infoId == **null**) {  System.***out***.println("验证失败");  **return** ***ERROR***;  }  **if**(checkUuid(uuid)) {  System.***out***.println("该用户合法");  session.setAttribute("uuid", uuid);  session.setAttribute("keyId", keyId);  session.setAttribute("message", **null**);  VoteDao voteDao = **new** VoteDao();  List<VoteInfo> infos = voteDao.findVoteInfoById(infoId);  VoteInfo info = infos.get(0);  System.***out***.println();  **if**(info.getType().equals("多选一")) {  **return** "single";  } **else** **if**(info.getType().equals("多选多")) {  **return** "multiple";  } **else** **if**(info.getType().equals("决议投票")) {  **return** "dicision";  } **else** {  session.setAttribute("login\_error", "该密钥文件无效");  **return** "error";  }  }  **else** {  System.***out***.println("UUID不合法");  session.setAttribute("message", "该序列码不存在");  **return** ***INPUT***;  }  } |

**(2) getPersonVote**

获取个人的投票信息

**代码清单11.16 getPersonVote**

|  |
| --- |
| **public** String getPersonVote() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  String uuid = (String) session.getAttribute("uuid");  ListDao ld = **new** ListDao();  List<List2> list2 = ld.find(uuid, "List2");  List<List3> list3 = ld.find(uuid, "List3");  **if**(list2 == **null** || list2.size() == 0)  session.setAttribute("sizeOfList2", 0);  **if**(list3 == **null** || list3.size() == 0)  session.setAttribute("sizeOfList3", 0);  session.setAttribute("list2", list2);  session.setAttribute("list3", list3);  **return** ***SUCCESS***;  } |

* **VoteAction**

**(1) getVoteItem**

获取投票候选项详细信息

**代码清单11.17 getVoteItem**

|  |
| --- |
| **public** String getVoteItem() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  VoteDao vd = **new** VoteDao();  List<VoteItem> items = vd.findItem(itemid);  **if**(items == **null** || items.size() == 0)  **return** ***ERROR***;  VoteItem item = items.get(0);  session.setAttribute("item", item);  **return** ***SUCCESS***;  } |

**(2) getVoteItems**

获取投票或选项清单

**代码清单11.18 getVoteItems**

|  |
| --- |
| **public** String getVoteItems() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  String uuid = (String) session.getAttribute("uuid");  ListDao ld = **new** ListDao();  List<List1> list = ld.find(uuid,"List1");  **if**(list != **null** && list.size() > 0) {  List1 l1 = list.get(0);  Integer infoId = l1.getInfoId();  VoteDao vd = **new** VoteDao();  List<VoteInfo> infos = vd.findVoteInfoById(infoId);  System.***out***.println("infoId = " + infoId);  **if**(infos != **null** && infos.size() > 0) {  VoteInfo voteInfo = infos.get(0);  session.setAttribute("items", voteInfo.getItems());  session.setAttribute("info", voteInfo);  **return** ***SUCCESS***;  }  **return** ***ERROR***;  }  **return** ***ERROR***;  } |

(3) singleVote

多选一投票

**代码清单11.19 singleVote**

|  |
| --- |
| **public** String singleVote() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  String uuid = (String) session.getAttribute("uuid");  **if**(uuid == **null**) {  session.setAttribute("message", "您还没有登录！请登录后再参与投票");  **return** ***INPUT***;  }    Integer infoId = (Integer) session.getAttribute("infoId");  **if**(infoId == **null** ) {  ListDao listDao = **new** ListDao();  List<List1> list = listDao.find(uuid, "List1");  **if**(list!=**null**) {  infoId = list.get(0).getInfoId();  }  }  /\*\*  \* 验证用户是否已经投票  \*/  ListDao ld = **new** ListDao();  List<List2> list = ld.find(uuid, "List2",infoId);  **if**(list != **null** && list.size() > 0) {  session.setAttribute("message", "您已经参与投票，请勿重复投票！");  **return** ***INPUT***;  }    /\*\*  \* 1.对选票进行关联环签名  \* 2.验证选票的合法性  \*/  String message = "BLIND\_SIGNATURE\_SIGN:" + itemid;  Map<String, String> map = TCPUtil.*sendMessage*(message);  String blind\_vote = map.get("blind\_vote").replace(' ', '\0');  String vote\_signature = map.get("vote\_signature").replace(' ', '\0');    /\*\*  \* 初始化List2  \*/  List2 l2 = **new** List2();  l2.setUuid(uuid);  l2.setBlind\_vote(blind\_vote);  l2.setSigned\_vote(vote\_signature);  l2.setCreateTime(DateUtil.*getDateTime*());  l2.setInfoId(infoId);  /\*\*  \* 保存List2  \*/  **try** {  Session session2 = HibernateUtil.*getSession*();  session2.beginTransaction();  session2.save(l2);  session2.getTransaction().commit();  } **catch** (Exception e1) {  System.***out***.println(e1.getMessage());  session.setAttribute("result", "error");  session.setAttribute("message", "投票失败！");  **return** ***ERROR***;  }  /\*\*  \* 查找选票信息  \*/  session.setAttribute("result", "success");  session.setAttribute("message","投票成功！投票结果将会在一周后公布！");  **return** ***SUCCESS***;  } |

**(2) multipleVote**

多选投票

**代码清单11.20 multipleVote**

|  |
| --- |
| **public** String multipleVote() **throws** Exception {  HttpServletRequest request = ServletActionContext.*getRequest*();  HttpSession session = request.getSession();  Integer infoId = **null**;  **if**(info != **null** && info.getId() != **null**) {  System.***out***.println("infoId:" + info.getId());  infoId = info.getId();  } **else** {  infoId = (Integer) session.getAttribute("infoId");  }    String uuid = (String) session.getAttribute("uuid");  **if**(uuid == **null**) {  alert("您还没有登录！请登录后再参与投票。");  **return** ***INPUT***;  }    /\*\*  \* 验证用户是否已经投票  \*/  ListDao ld = **new** ListDao();  List<List2> list = ld.find(uuid, "List2",infoId);    **if**(list != **null** && list.size() > 0) {  alert("您已经参与投票！请勿重复投票");  **return** ***INPUT***;  }    String[] items = request.getParameterValues("itemId");  **if**(items == **null** || items.length == 0){  alert("请选择至少一个候选项！");  **return** ***INPUT***;  }    **for** (String itemId : items) {  /\*\*  \* 1.对选票进行关联环签名  \* 2.验证选票的合法性  \*/  String message = "BLIND\_SIGNATURE\_SIGN:" + itemId;  Map<String, String> map = TCPUtil.*sendMessage*(message);  String blind\_vote = map.get("blind\_vote").replace(' ', '\0');  String vote\_signature = map.get("vote\_signature").replace(' ', '\0');  /\*\*  \* 初始化List2  \*/  List2 l2 = **new** List2();  l2.setUuid(uuid);  l2.setBlind\_vote(blind\_vote);  l2.setSigned\_vote(vote\_signature);  l2.setCreateTime(DateUtil.*getDateTime*());  l2.setInfoId(infoId);  /\*\*  \* 保存List2  \*/  **try** {  Session session2 = HibernateUtil.*getSession*();  session2.beginTransaction();  session2.save(l2);  session2.getTransaction().commit();  } **catch** (Exception e1) {  System.***out***.println("保存选票失败："+e1.getMessage());  session.setAttribute("result", "error");  session.setAttribute("message", "投票失败！");  **return** ***ERROR***;  }  /\*\*  \* 查找选票信息  \*/  session.setAttribute("result", "success");    }  **return** ***SUCCESS***;  } |

# 附录12 单元测试

**表12.1 单元测试表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **所属模块** | **测试步骤** | **预期结果** | **是否通过测试** | **测试人员** |
| 1 | 投票管理中心  注册/登录模块 | 进入后台注册页面 | 输入账号密码，注册失败给出提示信息；  注册成功后，进入后台登录页面 | 是 | 许勤昆 |
| 进入后台登录页面 | 输入正确账号密码后进入后台管理首页，否则提示：“用户名或密码错误” | 是 | 许勤昆 |
| 2 | 创建投票 | 进入创建投票活动页面 | 输入投票活动信息后，创建投票活动，在投票活动列表中显示投票活动列表 | 是 | 许勤昆 |
| 3 | 添加候选人 | 进入添加候选人页面 | 填写候选人信息，并上传候选人照片，在投票信息详情页面可以查看候选人信息 | 是 | 许勤昆 |
| 4 | 邀请选民 | 进入选民邀请页面 | 正确填写邮箱信息及上传选民信息表，邮箱发送成功后提示“发送成功”，否则提示“发送失败” | 是 | 许勤昆 |
| 5 | 选民注册 | 点击邮箱链接，进入选民注册页面 | 注册成功后，向用户提供证书，用户下载证书 | 是 | 许勤昆 |
| 6 | 选民登录 | 进入登录页面  用户上传证书 | 验证成功后进入投票中心页面 | 是 | 许勤昆 |
| 7 | 选民投票 | 选择候选人进行投票 | 投票成功后，提示用户投票成功；用户不可重复投票 | 是 | 许勤昆 |
| 8 | 数字签名 | 关联环签名模块 | 注册阶段，为用户生成关联环签名 | 是 | 许勤昆 |
| 盲签名模块 | 为选票生成盲签名 | 是 | 许勤昆 |
| 消盲阶段 | 将盲化选票消盲，还原选票信息 | 是 | 许勤昆 |