7_自定义协议

> 仅供 编程导航 <https://www.code-nav.cn/post/1816420035119853569> 内部成员观看，请勿对外分享！

一、需求分析

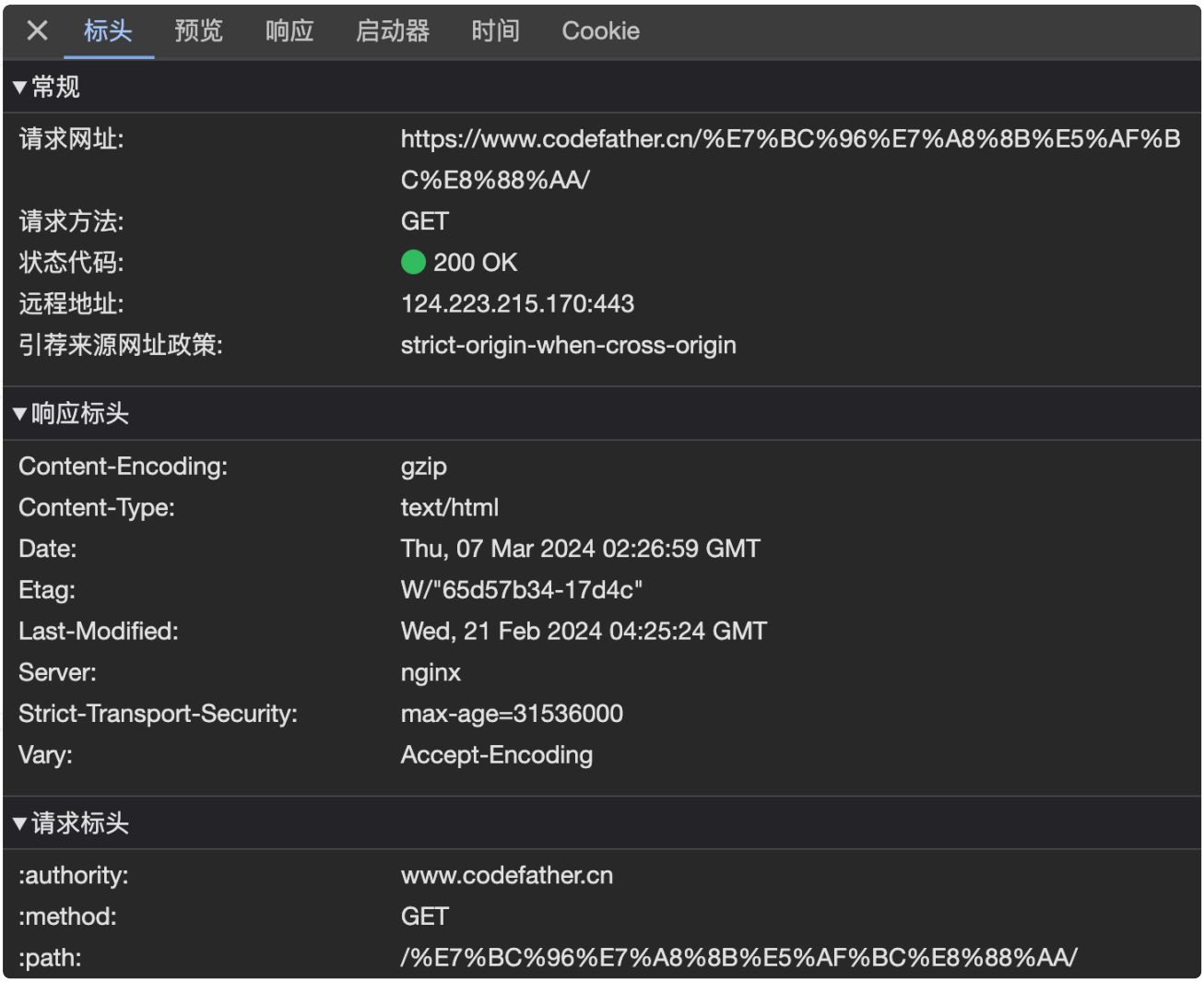
目前的 RPC 框架，我们使用 Vert.x 的 HttpServer 作为服务提供者的服务器，代码实现比较简单，其底层网络传输使用的是 HTTP 协议。

很多同学会把 HTTP 和 RPC 理解为同一类技术，但 HTTP 只是 RPC 框架网络传输的一种可选方式罢了。

问题来了，使用 HTTP 协议会有什么问题么？或者说，有没有更好的选择？

一般情况下，RPC 框架会比较注重性能，而 HTTP 协议中的头部信息、请求响应格式较 “重”，会影响网络传输性能。

举个例子，利用浏览器网络控制台随便查看一个请求，能看到大量的请求和响应标头：



所以，我们需要自己自定义一套 RPC 协议，比如利用 TCP 等传输层协议、自己定义请求响应结构，来实现性能更高、更灵活、更安全的 RPC 框架。

本节教程，鱼皮会带大家自定义 RPC 协议，巩固计算机网络知识，并提升自己的系统设计能力。

二、设计方案

自定义 RPC 协议可以分为 2 大核心部分：

- 自定义网络传输
- 自定义消息结构

1、网络传输设计

网络传输设计的目标是：选择一个能够高性能通信的网络协议和传输方式。

需求分析中已经提到了，HTTP 协议的头信息是比较大的，会影响传输性能。但其实除了这点外，HTTP 本身属于无状态协议，这意味着每个 HTTP 请求都是独立的，每次请求 / 响应都要重新建立和关闭连接，也会影响性能。

考虑到这点，在 HTTP/1.1 中引入了持久连接（Keep-Alive），允许在单个 TCP 连接上发送多个 HTTP 请求和响应，避免了每次请求都要重新建立和关闭连接的开销。

虽然如此，HTTP 本身是应用层协议，我们现在设计的 RPC 协议也是应用层协议，性能肯定是不如底层（传输层）的 TCP 协议要高的。所以我们想要追求更高的性能，还是选择使用 TCP 协议完成网络传输，有更多的自主设计空间。

2、消息结构设计

消息结构设计的目标是：用 **最少的** 空间传递 **需要的** 信息。

1）如何使用最少的空间呢？

大家之前接触到的数据类型可能都是整型、长整型、浮点数类型等等，这些类型其实都比较“重”，占用的字节数较多。比如整型要占用 4 个字节、32 个 bit 位。

我们在自定义消息结构时，想要节省空间，就要尽可能使用更轻量的类型，比如 byte 字节类型，只占用 1 个字节、8 个 bit 位。

需要注意的是，Java 中实现 bit 位运算拼接相对比较麻烦，所以权衡开发成本，我们设计消息结构时，尽量给每个数据凑到整个字节。

2）消息内需要哪些信息呢？

目标肯定是能够完成请求嘛，那我们何不从之前的 HTTP 请求方式中，找到一些线索？

分析 HTTP 请求结构，我们能够得到 RPC 消息所需的信息：

- 魔数：作用是安全校验，防止服务器处理了非框架发来的乱七八糟的消息（类似 HTTPS 的安全证书）
- 版本号：保证请求和响应的一致性（类似 HTTP 协议有 1.0/2.0 等版本）
- 序列化方式：来告诉服务端和客户端如何解析数据（类似 HTTP 的 Content-Type 内容类型）
- 类型：标识是请求还是响应？或者是心跳检测等其他用途。（类似 HTTP 有请求头和响应头）
- 状态：如果是响应，记录响应的结果（类似 HTTP 的 200 状态代码）

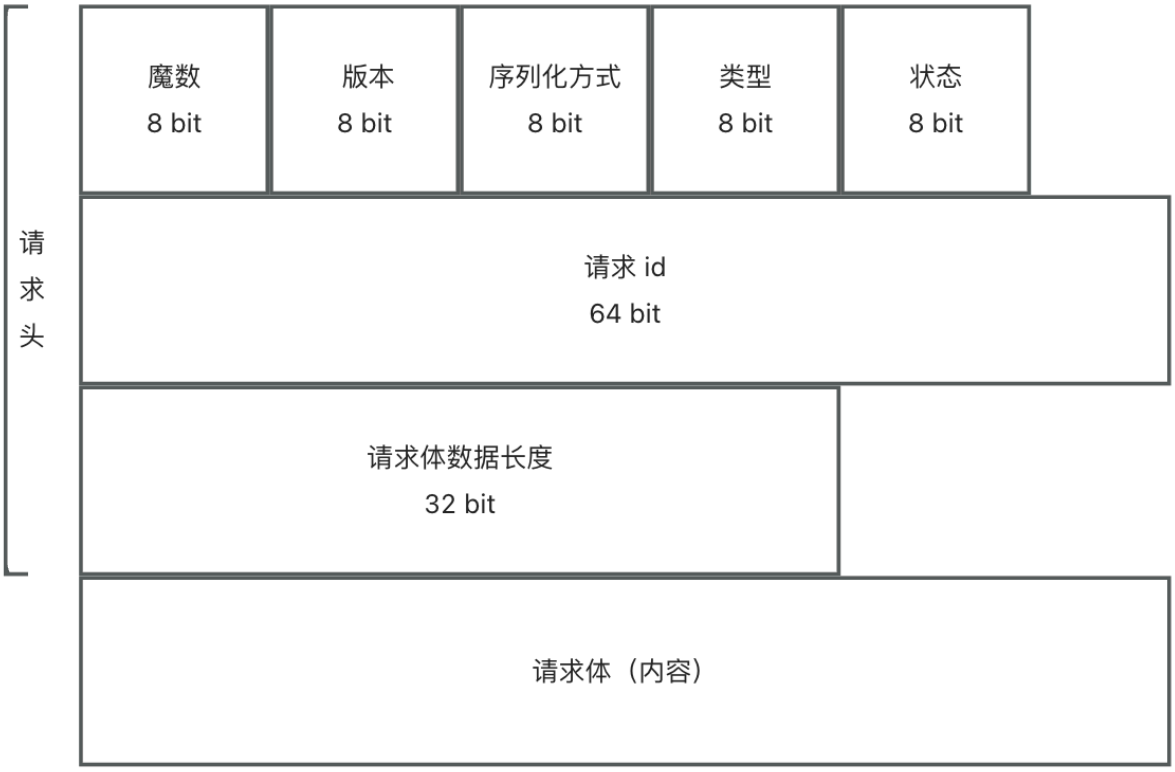
此外，还需要有请求 id，唯一标识某个请求，因为 TCP 是双向通信的，需要有个唯一标识来追踪每个请求。

最后，也是最重要的，要发送 body 内容数据。我们暂时称它为 **请求体**，类似于我们之前 HTTP 请求中发送的 RpcRequest。

如果是 HTTP 这种协议，有专门的 key / value 结构，很容易找到完整的 body 数据。但基于 TCP 协议，想要获取到完整的 body 内容数据，就需要一些 “小心思” 了，因为 TCP 协议本身会存在半包和粘包问题，每次传输的数据可能是不完整的，具体的后面会讲。

所以我们需要在消息头中新增一个字段 `请求体数据长度`，保证能够完整地获取 body 内容信息。

基于以上的思考，我们可以得到最终的消息结构设计，如下图：



实际上，这些数据应该是紧凑的，请求头信息总长 17 个字节。也就是说，上述消息结构，本质上就是拼接在一起的一个字节数组。我们后续实现时，需要有 **消息编码器** 和 **消息解码器**，编码器先 new 一个空的 Buffer 缓冲区，然后按照顺序向缓冲区依次写入这些数据；解码器在读取时也按照顺序依次读取，就能还原出编码前的数据。

通过这种约定的方式，我们就不用记录头信息了。比如 magic 魔数，不用存储 “magic” 这个字符串，而是读取第一个字节（前 8 bit）就能获取到。

如果你学过 Redis 底层，会发现很多数据结构都是这种设计。

如果大家是第一次设计协议，或者经验不足，强烈建议大家先去学一下优秀开源框架的协议设计，这样不会说毫无头绪。

比如鱼皮就参考了 Dubbo 的协议设计，如下图：

Dubbo Protocol

Offsets Octet		0								1								2								3							
Octet	Bit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	Magic High								Magic Low								Req/Res	2Way	Event	Serialization ID					Status							
4	32	RPC Request ID																															
8	64																																
12	96	Data Length																															
16 ...	128 ...	Variable length part, in turn, is: dubbo version, service name, service version, method name, parameter types, arguments, attachments																															

明确了设计后，我们来开发实现，就比较简单了。

三、开发实现

1、消息结构

新建 `protocol` 包，将所有和自定义协议有关的代码都放到该包下。

1）新建协议消息类 `ProtocolMessage` 。

将消息头单独封装为一个内部类，消息体可以使用泛型类型，完整代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import lombok.AllArgsConstructor;
import lombok.Data;
import lombok.NoArgsConstructor;

/**
 * 协议消息结构
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航学习圈</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">鱼皮的编程宝典</a>

 */
@Data
@AllArgsConstructor
@NoArgsConstructor
public class ProtocolMessage<T> {

    /**
     * 消息头
     */
    private Header header;

    /**
     * 消息体（请求或响应对象）
     */
    private T body;

    /**
     * 协议消息头
     */
    @Data
    public static class Header {

        /**
         * 魔数，保证安全性
         */
        private byte magic;

        /**
         * 版本号
         */
        private byte version;

        /**
         * 序列化器
         */
```

```
51          private byte serializer;
52
53          /**
54           * 消息类型（请求 / 响应）
55           */
56          private byte type;
57
58          /**
59           * 状态
60           */
61          private byte status;
62
63          /**
64           * 请求 id
65           */
66          private long requestId;
67
68          /**
69           * 消息体长度
70           */
71          private int bodyLength;
72      }
73
74  }
```

2）新建协议常量类 `ProtocolConstant` 。

记录了和自定义协议有关的关键信息，比如消息头长度、魔数、版本号。

完整代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

/**
 * 协议常量
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航学习圈</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">鱼皮的编程宝典</a>

 */
public interface ProtocolConstant {

    /**
     * 消息头长度
     */
    int MESSAGE_HEADER_LENGTH = 17;

    /**
     * 协议魔数
     */
    byte PROTOCOL_MAGIC = 0x1;

    /**
     * 协议版本号
     */
    byte PROTOCOL_VERSION = 0x1;
}
```

3）新建消息字段的枚举类，比如：

协议状态枚举，暂时只定义成功、请求失败、响应失败三种枚举值：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import lombok.Getter;

/**
 * 协议消息的状态枚举
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航学习圈</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">鱼皮的编程宝典</a>

 */
@Getter
public enum ProtocolMessageStatusEnum {

    OK("ok", 20),
    BAD_REQUEST("badRequest", 40),
    BAD_RESPONSE("badResponse", 50);

    private final String text;

    private final int value;

    ProtocolMessageStatusEnum(String text, int value) {
        this.text = text;
        this.value = value;
    }

    /**
     * 根据 value 获取枚举
     *
     * @param value
     * @return
     */
    public static ProtocolMessageStatusEnum getEnumByValue(int value) {
        for (ProtocolMessageStatusEnum anEnum : ProtocolMessageStatusEnum.val
            if (anEnum.value == value) {
                return anEnum;
            }
        }
        return null;
    }
}
```

协议消息类型枚举，包括请求、响应、心跳、其他。代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import lombok.Getter;

/**
 * 协议消息的类型枚举
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航学习圈</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">鱼皮的编程宝典</a>

 */
@Getter
public enum ProtocolMessageTypeEnum {

    REQUEST(0),
    RESPONSE(1),
    HEART_BEAT(2),
    OTHERS(3);

    private final int key;

    ProtocolMessageTypeEnum(int key) {
        this.key = key;
    }

    /**
     * 根据 key 获取枚举
     *
     * @param key
     * @return
     */
    public static ProtocolMessageTypeEnum getEnumByKey(int key) {
        for (ProtocolMessageTypeEnum anEnum : ProtocolMessageTypeEnum.values(
            if (anEnum.key == key) {
                return anEnum;
            }
        }
        return null;
    }
}
```

协议消息的序列化器枚举，跟我们 RPC 框架已支持的序列化器对应。代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import cn.hutool.core.util.ObjectUtil;
import lombok.Getter;

import java.util.Arrays;
import java.util.List;
import java.util.stream.Collectors;

/**
 * 协议消息的序列化器枚举
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航学习圈</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">鱼皮的编程宝典</a>

 */
@Getter
public enum ProtocolMessageSerializerEnum {

    JDK(0, "jdk"),
    JSON(1, "json"),
    KRYO(2, "kryo"),
    HESSIAN(3, "hessian");

    private final int key;

    private final String value;

    ProtocolMessageSerializerEnum(int key, String value) {
        this.key = key;
        this.value = value;
    }

    /**
     * 获取值列表
     *
     * @return
     */
    public static List<String> getValues() {
        return Arrays.stream(values()).map(item -> item.value).collect(Collec
    }

    /**
     * 根据 key 获取枚举
     *
     * @param key
     * @return
```

```
     */
    public static ProtocolMessageSerializerEnum getEnumByKey(int key) {
        for (ProtocolMessageSerializerEnum anEnum : ProtocolMessageSerializer
            if (anEnum.key == key) {
                return anEnum;
            }
        }
        return null;
    }


    /**
     * 根据 value 获取枚举
     *
     * @param value
     * @return
     */
    public static ProtocolMessageSerializerEnum getEnumByValue(String value)
        if (ObjectUtil.isEmpty(value)) {
            return null;
        }
        for (ProtocolMessageSerializerEnum anEnum : ProtocolMessageSerializer
            if (anEnum.value.equals(value)) {
                return anEnum;
            }
        }
        return null;
    }
}
```

2、网络传输

我们的 RPC 框架使用了高性能的 Vert.x 作为网络传输服务器，之前用的是 HttpServer。同样，Vert.x 也支持 TCP 服务器，相比于 Netty 或者自己写 Socket 代码，更加简单易用。

首先新建 `server.tcp` 包，将所有 TCP 服务相关的代码放到该包中。

1）TCP 服务器实现。

新建 `VertxTcpServer` 类，跟之前写的 `VertxHttpServer` 类似，先创建 Vert.x 的服务器实例，然后定义处理请求的方法，比如回复 “Hello, client!”，最后启动服务器。

示例代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.server.HttpServer;
import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.net.NetServer;

public class VertxTcpServer implements HttpServer {

    private byte[] handleRequest(byte[] requestData) {
        // 在这里编写处理请求的逻辑，根据 requestData 构造响应数据并返回
        // 这里只是一个示例，实际逻辑需要根据具体的业务需求来实现
        return "Hello, client!".getBytes();
    }

    @Override
    public void doStart(int port) {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        // 创建 TCP 服务器
        NetServer server = vertx.createNetServer();

        // 处理请求
        server.connectHandler(socket -> {
            // 处理连接
            socket.handler(buffer -> {
                // 处理接收到的字节数组
                byte[] requestData = buffer.getBytes();
                // 在这里进行自定义的字节数组处理逻辑，比如解析请求、调用服务、构造
                byte[] responseData = handleRequest(requestData);
                // 发送响应
                socket.write(Buffer.buffer(responseData));
            });
        });

        // 启动 TCP 服务器并监听指定端口
        server.listen(port, result -> {
            if (result.succeeded()) {
                System.out.println("TCP server started on port " + port);
            } else {
                System.err.println("Failed to start TCP server: " + result.ca
            }
        });
    }

    public static void main(String[] args) {
        new VertxTcpServer().doStart(8888);
    }
}
```

8596字

上述代码中的 `socket.write` 方法，就是在向连接到服务器的客户端发送数据。注意发送的数据格式为 Buffer，这是 Vert.x 为我们提供的字节数组缓冲区实现。

2）TCP 客户端实现。

新建 `VertxTcpClient` 类，先创建 Vert.x 的客户端实例，然后定义处理请求的方法，比如回复“Hello, server!”，并建立连接。

示例代码如下：

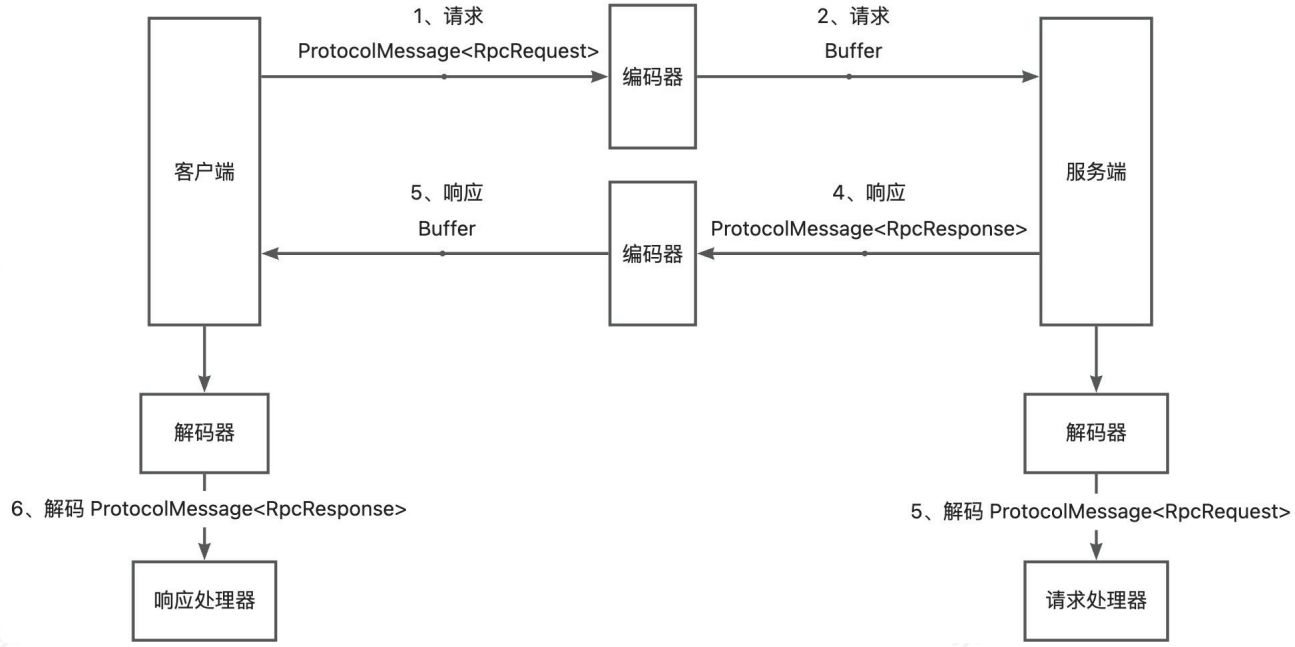
```
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import io.vertx.core.Vertx;

public class VertxTcpClient {

    public void start() {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        vertx.createNetClient().connect(8888, "localhost", result -> {
            if (result.succeeded()) {
                System.out.println("Connected to TCP server");
                io.vertx.core.net.NetSocket socket = result.result();
                // 发送数据
                socket.write("Hello, server!");
                // 接收响应
                socket.handler(buffer -> {
                    System.out.println("Received response from server: " + bu
                });
            } else {
                System.err.println("Failed to connect to TCP server");
            }
        });
    }

    public static void main(String[] args) {
        new VertxTcpClient().start();
    }
}
```

3）可以先进行简单的测试，先启动服务器，再启动客户端，能够在控制台看到它们互相打招呼的输出。

3、编码 / 解码器

在上一步中，我们也注意到了，Vert.x 的 TCP 服务器收发的消息是 Buffer 类型，不能直接写入一个对象。因此，我们需要编码器和解码器，将 Java 的消息对象和 Buffer 进行相互转换。

鱼皮只用一张图，通过演示整个请求和响应的过程，相信就能带大家了解编码器和解码器的作用。



之前 HTTP 请求和响应时，直接从请求 body 处理器中获取到 body 字节数组，再通过序列化（反序列化）得到 RpcRequest 或 RpcResponse 对象。使用 TCP 服务器后，只不过改为从 Buffer 中获取字节数组，然后编解码为 RpcRequest 或 RpcResponse 对象。其他的后续处理流程都是可复用的。

1）首先实现消息编码器。

在 protocol 包下新建 `ProtocolMessageEncoder`，核心流程是依次向 Buffer 缓冲区写入消息对象里的字段。

代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import com.yupi.yurpc.serializer.Serializer;
import com.yupi.yurpc.serializer.SerializerFactory;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;

import java.io.IOException;

public class ProtocolMessageEncoder {

    /**
     * 编码
     *
     * @param protocolMessage
     * @return
     * @throws IOException
     */
    public static Buffer encode(ProtocolMessage<?> protocolMessage) throws IO
        if (protocolMessage == null || protocolMessage.getHeader() == null) {
            return Buffer.buffer();
        }
        ProtocolMessage.Header header = protocolMessage.getHeader();
        // 依次向缓冲区写入字节
        Buffer buffer = Buffer.buffer();
        buffer.appendByte(header.getMagic());
        buffer.appendByte(header.getVersion());
        buffer.appendByte(header.getSerializer());
        buffer.appendByte(header.getType());
        buffer.appendByte(header.getStatus());
        buffer.appendLong(header.getRequestId());
        // 获取序列化器
        ProtocolMessageSerializerEnum serializerEnum = ProtocolMessageSeriali
        if (serializerEnum == null) {
            throw new RuntimeException("序列化协议不存在");
        }
        Serializer serializer = SerializerFactory.getInstance(serializerEnum.
        byte[] bodyBytes = serializer.serialize(protocolMessage.getBody());
        // 写入 body 长度和数据
        buffer.appendInt(bodyBytes.length);
        buffer.appendBytes(bodyBytes);
        return buffer;
    }
}
```

2）实现消息解码器。

在 protocol 包下新建 `ProtocolMessageDecoder`，核心流程是依次从 Buffer 缓冲区的指定位置读取字段，构造出完整的消息对象。

代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import com.yupi.yurpc.model.RpcRequest;
import com.yupi.yurpc.model.RpcResponse;
import com.yupi.yurpc.serializer.Serializer;
import com.yupi.yurpc.serializer.SerializerFactory;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;

import java.io.IOException;

/**
 * 协议消息解码器
 */
public class ProtocolMessageDecoder {

    /**
     * 解码
     *
     * @param buffer
     * @return
     * @throws IOException
     */

    public static ProtocolMessage<?> decode(Buffer buffer) throws IOException
        // 分别从指定位置读出 Buffer
        ProtocolMessage.Header header = new ProtocolMessage.Header();
        byte magic = buffer.getByte(0);
        // 校验魔数
        if (magic != ProtocolConstant.PROTOCOL_MAGIC) {
            throw new RuntimeException("消息 magic 非法");
        }
        header.setMagic(magic);
        header.setVersion(buffer.getByte(1));
        header.setSerializer(buffer.getByte(2));
        header.setType(buffer.getByte(3));
        header.setStatus(buffer.getByte(4));
        header.setRequestId(buffer.getLong(5));
        header.setBodyLength(buffer.getInt(13));
        // 解决粘包问题，只读指定长度的数据
        byte[] bodyBytes = buffer.getBytes(17, 17 + header.getBodyLength());
        // 解析消息体
        ProtocolMessageSerializerEnum serializerEnum = ProtocolMessageSeriali
        if (serializerEnum == null) {
            throw new RuntimeException("序列化消息的协议不存在");
        }
        Serializer serializer = SerializerFactory.getInstance(serializerEnum.
        ProtocolMessageTypeEnum messageTypeEnum = ProtocolMessageTypeEnum.get
        if (messageTypeEnum == null) {
            throw new RuntimeException("序列化消息的类型不存在");
        }
```

```
51          switch (messageTypeEnum) {
52              case REQUEST:
53                  RpcRequest request = serializer.deserialize(bodyBytes, RpcReq
54                  return new ProtocolMessage<>(header, request);
55              case RESPONSE:
56                  RpcResponse response = serializer.deserialize(bodyBytes, RpcR
57                  return new ProtocolMessage<>(header, response);
58              case HEART_BEAT:
59              case OTHERS:
60              default:
61                  throw new RuntimeException("暂不支持该消息类型");
62          }
63      }
64
65  }
```

3）编写单元测试类，先编码再解码，以测试编码器和解码器的正确性。

代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.protocol;

import cn.hutool.core.util.IdUtil;
import com.yupi.yurpc.constant.RpcConstant;
import com.yupi.yurpc.model.RpcRequest;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import org.junit.Assert;
import org.junit.Test;

import java.io.IOException;

public class ProtocolMessageTest {

    @Test
    public void testEncodeAndDecode() throws IOException {
        // 构造消息
        ProtocolMessage<RpcRequest> protocolMessage = new ProtocolMessage<>()
        ProtocolMessage.Header header = new ProtocolMessage.Header();
        header.setMagic(ProtocolConstant.PROTOCOL_MAGIC);
        header.setVersion(ProtocolConstant.PROTOCOL_VERSION);
        header.setSerializer((byte) ProtocolMessageSerializerEnum.JDK.getKey(
        header.setType((byte) ProtocolMessageTypeEnum.REQUEST.getKey());
        header.setStatus((byte) ProtocolMessageStatusEnum.OK.getValue());
        header.setRequestId(IdUtil.getSnowflakeNextId());
        header.setBodyLength(0);
        RpcRequest rpcRequest = new RpcRequest();
        rpcRequest.setServiceName("myService");
        rpcRequest.setMethodName("myMethod");
        rpcRequest.setServiceVersion(RpcConstant.DEFAULT_SERVICE_VERSION);
        rpcRequest.setParameterTypes(new Class[]{String.class});
        rpcRequest.setArgs(new Object[]{"aaa", "bbb"});
        protocolMessage.setHeader(header);
        protocolMessage.setBody(rpcRequest);

        Buffer encodeBuffer = ProtocolMessageEncoder.encode(protocolMessage);
        ProtocolMessage<?> message = ProtocolMessageDecoder.decode(encodeBuff
        Assert.assertNotNull(message);
    }

}
```

4、请求处理器（服务提供者）

可以使用 netty 的 pipeline 组合多个 handler（比如编码 => 解码 => 请求 / 响应处理）

请求处理器的作用是接受请求，然后通过反射调用服务实现类。

类似之前的 HttpServerHandler，我们需要开发一个 TcpServerHandler，用于处理请求。和 HttpServerHandler 的区别只是在获取请求、写入响应的方式上，需要调用上面开发好的编码器和解码器。

通过实现 Vert.x 提供的 `Handler<NetSocket>` 接口，可以定义 TCP 请求处理器。

完整代码如下，大多数代码都是从之前写好的 HttpServerHandler 复制来的：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.model.RpcRequest;
import com.yupi.yurpc.model.RpcResponse;
import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolMessage;
import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolMessageDecoder;
import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolMessageEncoder;
import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolMessageTypeEnum;
import com.yupi.yurpc.registry.LocalRegistry;
import io.vertx.core.Handler;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.net.NetSocket;

import java.io.IOException;
import java.lang.reflect.Method;

public class TcpServerHandler implements Handler<NetSocket> {

    @Override
    public void handle(NetSocket netSocket) {
        // 处理连接
        netSocket.handler(buffer -> {
            // 接受请求，解码
            ProtocolMessage<RpcRequest> protocolMessage;
            try {
                protocolMessage = (ProtocolMessage<RpcRequest>) ProtocolMessa
            } catch (IOException e) {
                throw new RuntimeException("协议消息解码错误");
            }
            RpcRequest rpcRequest = protocolMessage.getBody();

            // 处理请求
            // 构造响应结果对象
            RpcResponse rpcResponse = new RpcResponse();
            try {
                // 获取要调用的服务实现类，通过反射调用
                Class<?> implClass = LocalRegistry.get(rpcRequest.getServiceN
                Method method = implClass.getMethod(rpcRequest.getMethodName(
                Object result = method.invoke(implClass.newInstance(), rpcReq
                // 封装返回结果
                rpcResponse.setData(result);
                rpcResponse.setDataType(method.getReturnType());
                rpcResponse.setMessage("ok");
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
                rpcResponse.setMessage(e.getMessage());
                rpcResponse.setException(e);
            }

            // 发送响应，编码
```

```
51                 ProtocolMessage.Header header = protocolMessage.getHeader();
52                 header.setType((byte) ProtocolMessageTypeEnum.RESPONSE.getKey());
53                 ProtocolMessage<RpcResponse> responseProtocolMessage = new Protoc
54                 try {
55                     Buffer encode = ProtocolMessageEncoder.encode(responseProtoco
56                     netSocket.write(encode);
57                 } catch (IOException e) {
58                     throw new RuntimeException("协议消息编码错误");
59                 }
60             });
61         }
62     }
```

5、请求发送（服务消费者）

调整服务消费者发送请求的代码，改 HTTP 请求为 TCP 请求。

代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.proxy;

import cn.hutool.core.collection.CollUtil;
import cn.hutool.core.util.IdUtil;
import cn.hutool.http.HttpRequest;
import cn.hutool.http.HttpResponse;
import com.yupi.yurpc.RpcApplication;
import com.yupi.yurpc.config.RpcConfig;
import com.yupi.yurpc.constant.RpcConstant;
import com.yupi.yurpc.model.RpcRequest;
import com.yupi.yurpc.model.RpcResponse;
import com.yupi.yurpc.model.ServiceMetaInfo;
import com.yupi.yurpc.protocol.*;
import com.yupi.yurpc.registry.Registry;
import com.yupi.yurpc.registry.RegistryFactory;
import com.yupi.yurpc.serializer.Serializer;
import com.yupi.yurpc.serializer.SerializerFactory;
import io.vertx.core.Future;
import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.net.NetClient;
import io.vertx.core.net.NetSocket;
import io.vertx.core.net.SocketAddress;

import java.io.IOException;
import java.lang.reflect.InvocationHandler;
import java.lang.reflect.Method;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.CompletableFuture;
import java.util.concurrent.CountDownLatch;

/**
 * 服务代理（JDK 动态代理）
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">编程宝典</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航知识星球</a>

 */
public class ServiceProxy implements InvocationHandler {

    /**
     * 调用代理
     *
     * @return
     * @throws Throwable
     */
    @Override
```

8596字

```
51      public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws
52          // 指定序列化器
53          final Serializer serializer = SerializerFactory.getInstance(RpcAppli
54
55          // 构造请求
56          String serviceName = method.getDeclaringClass().getName();
57          RpcRequest rpcRequest = RpcRequest.builder()
58                  .serviceName(serviceName)
59                  .methodName(method.getName())
60                  .parameterTypes(method.getParameterTypes())
61                  .args(args)
62                  .build();
63          try {
64              // 序列化
65              byte[] bodyBytes = serializer.serialize(rpcRequest);
66              // 从注册中心获取服务提供者请求地址
67              RpcConfig rpcConfig = RpcApplication.getRpcConfig();
68              Registry registry = RegistryFactory.getInstance(rpcConfig.getReg
69              ServiceMetaInfo serviceMetaInfo = new ServiceMetaInfo();
70              serviceMetaInfo.setServiceName(serviceName);
71              serviceMetaInfo.setServiceVersion(RpcConstant.DEFAULT_SERVICE_VE
72             List<ServiceMetaInfo> serviceMetaInfoList = registry.serviceDisco
73             if (CollUtil.isEmpty(serviceMetaInfoList)) {
74                 throw new RuntimeException("暂无服务地址");
75             }
76             ServiceMetaInfo selectedServiceMetaInfo = serviceMetaInfoList.get
77              // 发送 TCP 请求
78              Vertx vertx = Vertx.vertx();
79              NetClient netClient = vertx.createNetClient();
80              CompletableFuture<RpcResponse> responseFuture = new CompletableF
81              netClient.connect(selectedServiceMetaInfo.getServicePort(), sele
82                      result -> {
83                          if (result.succeeded()) {
84                              System.out.println("Connected to TCP server");
85                              io.vertx.core.net.NetSocket socket = result.resu
86                              // 发送数据
87                              // 构造消息
88                              ProtocolMessage<RpcRequest> protocolMessage = ne
89                              ProtocolMessage.Header header = new ProtocolMess
90                              header.setMagic(ProtocolConstant.PROTOCOL_MAGIC)
91                              header.setVersion(ProtocolConstant.PROTOCOL_VERS
92                              header.setSerializer((byte) ProtocolMessageSeria
93                              header.setType((byte) ProtocolMessageTypeEnum.RE
94                              header.setRequestId(IdUtil.getSnowflakeNextId())
95                              protocolMessage.setHeader(header);
96                              protocolMessage.setBody(rpcRequest);
97                              // 编码请求
98                              try {
99                                  Buffer encodeBuffer = ProtocolMessageEncoder
100                                 socket.write(encodeBuffer);
101                             } catch (IOException e) {
```

```
                                throw new RuntimeException("协议消息编码错误")
                            }

                            // 接收响应
                            socket.handler(buffer -> {
                                try {
                                    ProtocolMessage<RpcResponse> rpcResponse
                                    responseFuture.complete(rpcResponseProto
                                } catch (IOException e) {
                                    throw new RuntimeException("协议消息解码错
                                }
                            });
                        } else {
                            System.err.println("Failed to connect to TCP ser
                        }
                    });

            RpcResponse rpcResponse = responseFuture.get();
            // 记得关闭连接
            netClient.close();
            return rpcResponse.getData();
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }

        return null;
    }
```

这里的代码看着比较复杂，但只需要关注上述代码中注释了 “发送 TCP 请求” 的部分即可。由于 Vert.x 提供的请求处理器是异步、反应式的，我们为了更方便地获取结果，可以使用 `CompletableFuture` 转异步为同步，参考代码如下：

```
CompletableFuture<RpcResponse> responseFuture = new CompletableFuture<>();
netClient.connect(xxx,
    result -> {
        // 完成了响应
        responseFuture.complete(rpcResponseProtocolMessage.getBody());
    });
);
// 阻塞，直到响应完成，才会继续向下执行
RpcResponse rpcResponse = responseFuture.get();
```

等下也会带大家优化上述代码。

四、测试

编写好上述代码后，我们就可以先测试请求响应流程是否跑通了。

修改服务提供者 `ProviderExample` 代码，改为启动 TCP 服务器。完整代码如下：

```java
package com.yupi.example.provider;

import cn.hutool.core.net.NetUtil;
import com.yupi.example.common.service.UserService;
import com.yupi.yurpc.RpcApplication;
import com.yupi.yurpc.config.RegistryConfig;
import com.yupi.yurpc.config.RpcConfig;
import com.yupi.yurpc.model.ServiceMetaInfo;
import com.yupi.yurpc.registry.EtcdRegistry;
import com.yupi.yurpc.registry.LocalRegistry;
import com.yupi.yurpc.registry.Registry;
import com.yupi.yurpc.registry.RegistryFactory;
import com.yupi.yurpc.server.HttpServer;
import com.yupi.yurpc.server.VertxHttpServer;
import com.yupi.yurpc.server.tcp.VertxTcpServer;

/**
 * 服务提供者示例
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">编程宝典</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航知识星球</a>

 */
public class ProviderExample {

    public static void main(String[] args) {
        // RPC 框架初始化
        RpcApplication.init();

        // 注册服务
        String serviceName = UserService.class.getName();
        LocalRegistry.register(serviceName, UserServiceImpl.class);

        // 注册服务到注册中心
        RpcConfig rpcConfig = RpcApplication.getRpcConfig();
        RegistryConfig registryConfig = rpcConfig.getRegistryConfig();
        Registry registry = RegistryFactory.getInstance(registryConfig.getReg
        ServiceMetaInfo serviceMetaInfo = new ServiceMetaInfo();
        serviceMetaInfo.setServiceName(serviceName);
        serviceMetaInfo.setServiceHost(rpcConfig.getServerHost());
        serviceMetaInfo.setServicePort(rpcConfig.getServerPort());
        try {
            registry.register(serviceMetaInfo);
        } catch (Exception e) {
            throw new RuntimeException(e);
        }

```

```
51          // 启动 TCP 服务
52          VertxTcpServer vertxTcpServer = new VertxTcpServer();
53          vertxTcpServer.doStart(8080);
54      }
55  }
```

然后启动消费者示例项目，应该能够正常完成调用。如果不能，那可能就是出现了我们接下来要讲的问题 —— 粘包半包问题。

五、粘包半包问题解决

什么是粘包和半包?

使用 TCP 协议网络通讯时，可能会出现半包和粘包问题。

我举个例子大家就明白了。

理想情况下，假如我们客户端 **连续 2 次** 要发送的消息是：

```
// 第一次
Hello, server!Hello, server!Hello, server!Hello, server!
// 第二次
Hello, server!Hello, server!Hello, server!Hello, server!
```

但服务端收到的消息情况可能是：

1）每次收到的数据更少了，这种情况叫做 `半包` ：

```
// 第一次
Hello, server!Hello, server!
// 第二次
Hello, server!Hello, server!Hello, server!
```

2）每次收到的数据更多了，这种情况叫做 `粘包` ：

```
// 第三次
Hello, server!Hello, server!Hello, server!Hello, server!Hello, server!
```

半包粘包问题演示

为了更好地理解半包和粘包，我们可以编写代码来测试。

1）修改 TCP 客户端代码，连续发送 1000 次消息：

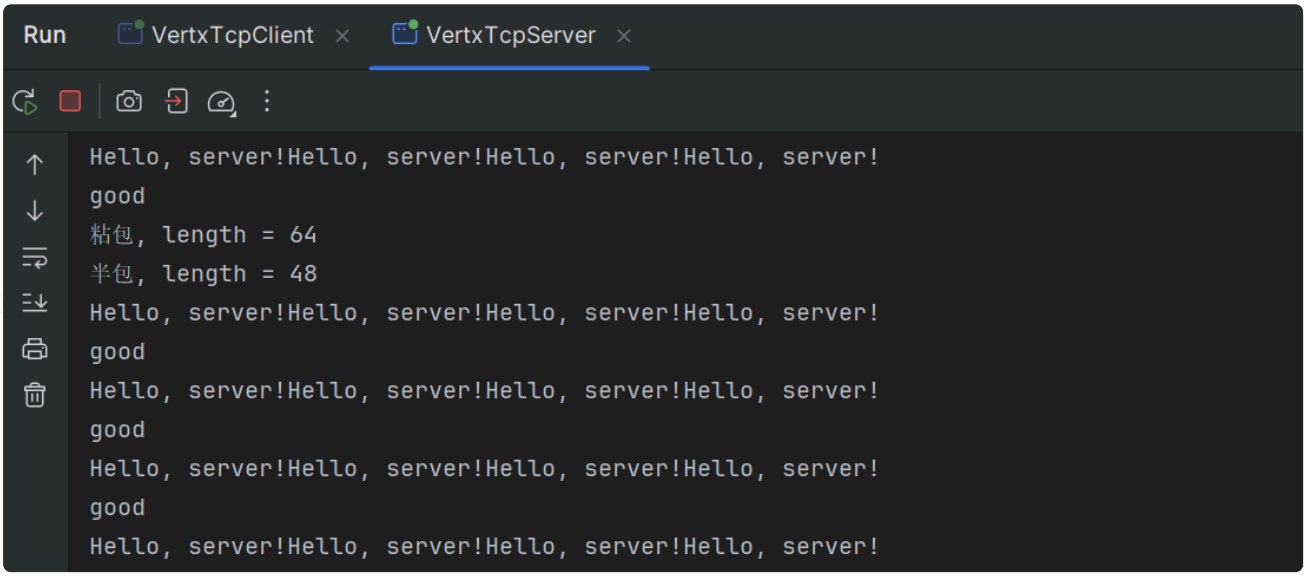
```
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import io.vertx.core.Vertx;

public class VertxTcpClient {

    public void start() {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        vertx.createNetClient().connect(8888, "localhost", result -> {
            if (result.succeeded()) {
                System.out.println("Connected to TCP server");
                io.vertx.core.net.NetSocket socket = result.result();
                for (int i = 0; i < 1000; i++) {
                    // 发送数据
                    socket.write("Hello, server!Hello, server!Hello, server!H
                }
                // 接收响应
                socket.handler(buffer -> {
                    System.out.println("Received response from server: " + bu
                });
            } else {
                System.err.println("Failed to connect to TCP server");
            }
        });
    }

    public static void main(String[] args) {
        new VertxTcpClient().start();
    }
}
```

2）修改 TCP 服务端代码，打印出每次收到的消息：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.server.HttpServer;
import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.net.NetServer;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;

@Slf4j
public class VertxTcpServer implements HttpServer {

    @Override
    public void doStart(int port) {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        // 创建 TCP 服务器
        NetServer server = vertx.createNetServer();

        // 处理请求
//        server.connectHandler(new TcpServerHandler());
        server.connectHandler(socket -> {
            socket.handler(buffer -> {
                String testMessage = "Hello, server!Hello, server!Hello, serv
                int messageLength = testMessage.getBytes().length;
                if (buffer.getBytes().length < messageLength) {
                    System.out.println("半包, length = " + buffer.getBytes().
                    return;
                }
                if (buffer.getBytes().length > messageLength) {
                    System.out.println("粘包, length = " + buffer.getBytes().
                    return;
                }
                String str = new String(buffer.getBytes(0, messageLength));
                System.out.println(str);
                if (testMessage.equals(str)) {
                    System.out.println("good");
                }
            });
        });

        // 启动 TCP 服务器并监听指定端口
        server.listen(port, result -> {
            if (result.succeeded()) {
                log.info("TCP server started on port " + port);
            } else {
                log.info("Failed to start TCP server: " + result.cause());
            }
        });
    }

```

```
51        public static void main(String[] args) {
52            new VertxTcpServer().doStart(8888);
53        }
```

3）测试运行，查看服务端控制台，发现服务端接受消息时，出现了半包和粘包：



下面我们分别解决半包和粘包问题。

如何解决半包?

解决半包的核心思路是：在消息头中设置请求体的长度，服务端接收时，判断每次消息的长度是否符合预期，不完整就不读，留到下一次接收到消息时再读取。

示例代码如下：

```
if (buffer == null || buffer.length() == 0) {
    throw new RuntimeException("消息 buffer 为空");
}
if (buffer.getBytes().length < ProtocolConstant.MESSAGE_HEADER_LENGTH) {
    throw new RuntimeException("出现了半包问题");
}
```

如何解决粘包?

解决粘包的核心思路也是类似的：每次只读取指定长度的数据，超过长度的留着下一次接收到消息时再读取。

示例代码如下：

```
// 解决粘包问题，只读指定长度的数据
byte[] bodyBytes = buffer.getBytes(17, 17 + header.getBodyLength());
```

听上去简单，但自己实现起来还是比较麻烦的，要记录每次接收到的消息位置，维护字节数组缓存。有没有更简单的方式呢?

Vert.x 解决半包和粘包

在 Vert.x 框架中，可以使用内置的 `RecordParser` 完美解决半包粘包，它的作用是：保证下次读取到 **特定长度** 的字符。

先不要急着直接修改业务代码，而是先学会该类库的使用，跑通测试流程，再引入到自己的业务代码中。

基础代码

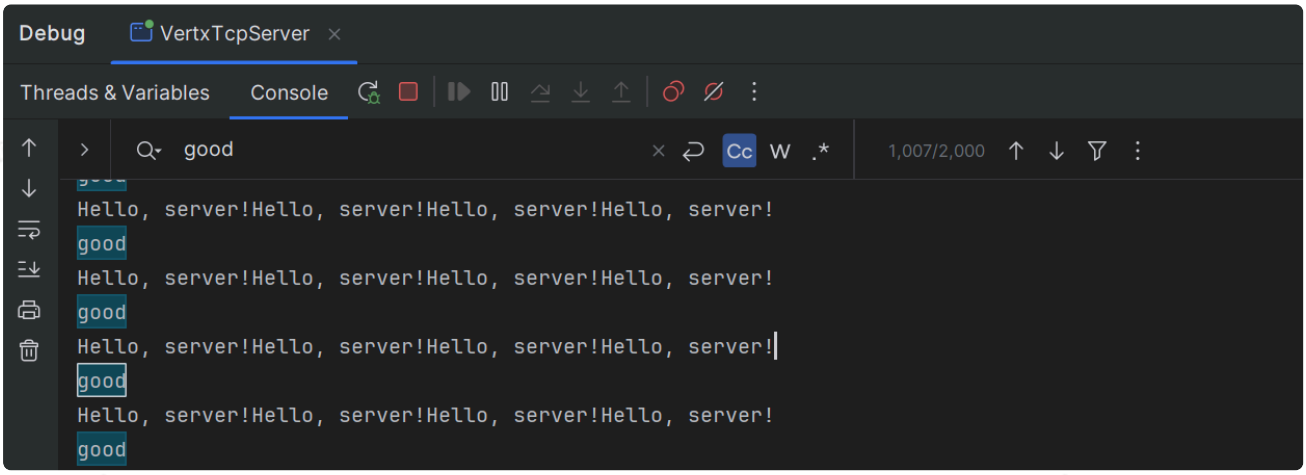
1）先小试牛刀，使用 `RecordParser` 来读取固定长度的消息，示例代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.server.HttpServer;
import io.vertx.core.Handler;
import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.net.NetServer;
import io.vertx.core.parsetools.RecordParser;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;

@Slf4j
public class VertxTcpServer implements HttpServer {

    @Override
    public void doStart(int port) {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        // 创建 TCP 服务器
        NetServer server = vertx.createNetServer();

        // 处理请求
//        server.connectHandler(new TcpServerHandler());
        server.connectHandler(socket -> {
            String testMessage = "Hello, server!Hello, server!Hello, server!H
            int messageLength = testMessage.getBytes().length;

            // 构造parser
            RecordParser parser = RecordParser.newFixed(messageLength);
            parser.setOutput(new Handler<Buffer>() {

                @Override
                public void handle(Buffer buffer) {
                    String str = new String(buffer.getBytes());
                    System.out.println(str);
                    if (testMessage.equals(str)) {
                        System.out.println("good");
                    }
                }
            });

            socket.handler(parser);
        });

        // 启动 TCP 服务器并监听指定端口
        server.listen(port, result -> {
            if (result.succeeded()) {
                log.info("TCP server started on port " + port);
            } else {
                log.info("Failed to start TCP server: " + result.cause());
```

```
51                 }
52             });
53         }
54 
55         public static void main(String[] args) {
56             new VertxTcpServer().doStart(8888);
57         }
58     }
```

上述代码的核心是 `RecordParser.newFixed(messageLength)` ，为 Parser 指定每次读取固定值长度的内容。

测试发现，这次的输出结果非常整齐，解决了半包和粘包：



2）实际运用中，消息体的长度是不固定的，所以要通过调整 RecordParser 的固定长度（变长）来解决。

那我们的思路可以是，将读取完整的消息拆分为 2 次：

1. 先完整读取请求头信息，由于请求头信息长度是固定的，可以使用 `RecordParser` 保证每次都完整读取。
2. 再根据请求头长度信息更改 `RecordParser` 的固定长度，保证完整获取到请求体。

修改测试 TCP Server 代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolConstant;
import com.yupi.yurpc.server.HttpServer;
import io.vertx.core.Handler;
import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.net.NetServer;
import io.vertx.core.parsetools.RecordParser;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;

@Slf4j
public class VertxTcpServer implements HttpServer {

    @Override
    public void doStart(int port) {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        // 创建 TCP 服务器
        NetServer server = vertx.createNetServer();

        // 处理请求
        server.connectHandler(socket -> {
            // 构造 parser
            RecordParser parser = RecordParser.newFixed(8);
            parser.setOutput(new Handler<Buffer>() {
                // 初始化
                int size = -1;
                // 一次完整的读取（头 + 体）
                Buffer resultBuffer = Buffer.buffer();

                @Override
                public void handle(Buffer buffer) {
                    if (-1 == size) {
                        // 读取消息体长度
                        size = buffer.getInt(4);
                        parser.fixedSizeMode(size);
                        // 写入头信息到结果
                        resultBuffer.appendBuffer(buffer);
                    } else {
                        // 写入体信息到结果
                        resultBuffer.appendBuffer(buffer);
                        System.out.println(resultBuffer.toString());
                        // 重置一轮
                        parser.fixedSizeMode(8);
                        size = -1;
                        resultBuffer = Buffer.buffer();
                    }
                }
```

```
            });

            socket.handler(parser);
        });

        // 启动 TCP 服务器并监听指定端口
        server.listen(port, result -> {
            if (result.succeeded()) {
                log.info("TCP server started on port " + port);
            } else {
                log.info("Failed to start TCP server: " + result.cause());
            }
        });
    }

    public static void main(String[] args) {
        new VertxTcpServer().doStart(8888);
    }
}
```

修改测试 TCP client 代码如下，自己构造了一个变长、长度信息不在 Buffer 最开头（而是有一定偏移量）的消息：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import io.vertx.core.Vertx;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;

public class VertxTcpClient {

    public void start() {
        // 创建 Vert.x 实例
        Vertx vertx = Vertx.vertx();

        vertx.createNetClient().connect(8888, "localhost", result -> {
            if (result.succeeded()) {
                System.out.println("Connected to TCP server");
                io.vertx.core.net.NetSocket socket = result.result();
                for (int i = 0; i < 1000; i++) {
                    // 发送数据
                    Buffer buffer = Buffer.buffer();
                    String str = "Hello, server!Hello, server!Hello, server!H
                    buffer.appendInt(0);
                    buffer.appendInt(str.getBytes().length);
                    buffer.appendBytes(str.getBytes());
                    socket.write(buffer);
                }
                // 接收响应
                socket.handler(buffer -> {
                    System.out.println("Received response from server: " + bu
                });
            } else {
                System.err.println("Failed to connect to TCP server");
            }
        });
    }

    public static void main(String[] args) {
        new VertxTcpClient().start();
    }
}
```

测试结果应该也是能够正常读取到消息的，不会出现半包和粘包。

封装半包粘包处理器

我们会发现，解决半包粘包问题还是有一定的代码量的，而且由于 ServiceProxy（消费者）和请求 Handler（提供者）都需要接受 Buffer，所以都需要半包粘包问题处理。

那我们就应该要想到：需要对代码进行封装复用了。

这里我们可以使用设计模式中的 **装饰者模式**，使用 RecordParser 对原有的 Buffer 处理器的能力进行增强。

装饰者模式可以简单理解为给对象穿装备，增强对象的能力。

在 `server.tcp` 包下新建 `TcpBufferHandlerWrapper` 类，实现并增强 `Handler<Buffer>` 接口。

完整代码如下：

```java
package com.yupi.yurpc.server.tcp;

import com.yupi.yurpc.protocol.ProtocolConstant;
import io.vertx.core.Handler;
import io.vertx.core.buffer.Buffer;
import io.vertx.core.parsetools.RecordParser;

/**
 * 装饰者模式（使用 recordParser 对原有的 buffer 处理能力进行增强）
 */
public class TcpBufferHandlerWrapper implements Handler<Buffer> {

    private final RecordParser recordParser;

    public TcpBufferHandlerWrapper(Handler<Buffer> bufferHandler) {
        recordParser = initRecordParser(bufferHandler);
    }

    @Override
    public void handle(Buffer buffer) {
        recordParser.handle(buffer);
    }

    private RecordParser initRecordParser(Handler<Buffer> bufferHandler) {
        // 构造 parser
        RecordParser parser = RecordParser.newFixed(ProtocolConstant.MESSAGE_

        parser.setOutput(new Handler<Buffer>() {
            // 初始化
            int size = -1;
            // 一次完整的读取（头 + 体）
            Buffer resultBuffer = Buffer.buffer();

            @Override
            public void handle(Buffer buffer) {
                if (-1 == size) {
                    // 读取消息体长度
                    size = buffer.getInt(13);
                    parser.fixedSizeMode(size);
                    // 写入头信息到结果
                    resultBuffer.appendBuffer(buffer);
                } else {
                    // 写入体信息到结果
                    resultBuffer.appendBuffer(buffer);
                    // 已拼接为完整 Buffer，执行处理
                    bufferHandler.handle(resultBuffer);
                    // 重置一轮
                    parser.fixedSizeMode(ProtocolConstant.MESSAGE_HEADER_LENG
                    size = -1;
                    resultBuffer = Buffer.buffer();
```

```
                }
            }
        });

        return parser;
    }
}
```

其实就是把 RecordParser 的代码粘了过来，当调用处理器的 `handle` 方法时，改为调用 `recordParser.handle` 。

优化客户端调用代码

有了半包粘包处理器，我们就可以很轻松地在业务代码中运用它了。

1）修改 TCP 请求处理器。

使用 `TcpBufferHandlerWrapper` 来封装之前处理请求的代码，请求逻辑不用变，需要修改的部分代码如下：

```
/**
 * TCP 请求处理器
 *
 * @author <a href="https://github.com/liyupi">程序员鱼皮</a>

 * @learn <a href="https://codefather.cn">编程宝典</a>

 * @from <a href="https://yupi.icu">编程导航知识星球</a>

 */
public class TcpServerHandler implements Handler<NetSocket> {

    /**
     * 处理请求
     *
     * @param socket the event to handle
     */
    @Override
    public void handle(NetSocket socket) {
        TcpBufferHandlerWrapper bufferHandlerWrapper = new TcpBufferHandlerWr
            // 处理请求代码
        });
        socket.handler(bufferHandlerWrapper);
    }
}
```

其实就是使用一个 Wrapper 对象 **包装** 了之前的代码，就解决了半包粘包。是不是很简单？这就是装饰者模式的妙用！

现在的 AI 不就是这样么？给你个 AI 工具，你就能做到之前很多想都不敢想的事情。

> 这里必须要再推荐一下鱼皮团队自己做的 AI 工具：https://yucongming.com/，哈哈哈哈<https://yucongming.com/，哈哈哈哈> ~

2）修改客户端处理响应的代码。

之前我们是把所有发送请求、处理响应的代码都写到了 `ServiceProxy` 中，使得这个类的代码“臃肿不堪”。

我们干脆做个优化，把所有的请求响应逻辑提取出来，封装为单独的 `VertxTcpClient` 类，放在 `server.tcp` 包下。

VertxTcpClient 的完整代码如下：