

吕帅, 杨周胜, 粟毅, 等. SeedLink地震数据实时传输服务器搭建[J]. 华南地震, 2024, 44(1): 111–118. [LYU Shuai, YANG Zhousheng, SU Yi, et al. SeedLink Seismic Data Real-time Transmission Server Construction[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(1): 111–118]

# SeedLink地震数据实时传输服务器搭建

吕 帅<sup>1, 2</sup>, 杨周胜<sup>1</sup>, 粟 毅<sup>1</sup>, 彭钰翔<sup>1</sup>, 刘鹏飞<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 昆明 650224; 2. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 利用运营商网络将地震监测数据实时传输至本地数据中心进行在线处理是全球各地地震台网的通用做法, IRIS 和 GFZ 等机构提供了基于 SeedLink 协议的地震数据共享服务器, 用户既能通过互联网快速获取数据到本地, 又能通过 Seiscomp 和 Earthworm 等系统进行实时地震监测。目前国内测震台网使用 NetSeis/IP 协议和 Http 协议进行数据分发, 通过 Jopens MSDP 软件进行在线处理。由于国内外采用不一样的数据传输协议, 国内数据流不能直接接入 Seiscomp 和 Earthworm 等系统使用。为解决这个问题, 介绍了 NetSeis/IP 和 SeedLink 等国内外主流地震数据实时传输协议, 对协议指令及数据请求方式进行了详细描述, 提出了一种基于 RingServer 快速搭建轻量级 SeedLink 实时数据流服务器的方法, 可实现 SeedLink 服务器功能, 一方面满足 Seiscomp 和 Earthworm 等国际地震监测系统的数据接入需要, 另一方面为我国地震数据在线共享提供参考。

**关键词:** 传输协议; Seedlink; 地震数据; RingServer; NetSeis/IP

中图分类号: P315.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)01-00111-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.01.13

## SeedLink Seismic Data Real-time Transmission Server Construction

LYU Shuai<sup>1, 2</sup>, YANG Zhousheng<sup>1</sup>, SU Yi<sup>1</sup>, PENG Yuxiang<sup>1</sup>, LIU Pengfei<sup>1</sup>

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China; 2. School of Information Engineering,  
China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** It is a common practice for seismic networks around the world to transfer seismic monitoring data in real time to local data centers for online processing by using operator networks. Organizations such as IRIS and GFZ provide seismic data sharing servers based on the SeedLink protocol, which allows users not only to quickly access data to the local via the Internet, but also to perform for real-time seismic monitoring through system such as Seiscomp and Earthworm. Currently, the domestic seismic station network uses the NetSeis/IP protocol and Http protocol for data distribution, and uses the Jopens MSDP software for online processing. Due to the different data transmission protocols used at home and abroad, domestic data streams cannot be directly connected to systems such as Seiscomp and Earthworm. To solve this problem, this paper introduces the mainstream seismic data real-time transmission protocols at home and abroad, such as NetSeis/IP and SeedLink, describes the protocol instructions and data request methods in detail, and proposes a method to quickly build a lightweight SeedLink real-time data streaming server based on RingServer, which can realize the function of SeedLink server. On the one

收稿日期: 2023-08-04

基金项目: 中国地震局监测司“三结合”课题(3JH-202402059)

作者简介: 吕帅(1991-), 男, 在读硕士, 工程师, 主要从事地震监测和地震信息化工作。

E-mail: lv\_303494@163.com

hand, it meets the data access needs of international seismic monitoring systems such as Seiscomp and Earthworm, and on the other hand, it provides a reference for online sharing of seismic data in China.

**Keywords:** Transmission protocol; Seedlink; Seismic data; RingServer; NetSeis/IP

## 0 引言

得益于现代网络技术的发展,人们可以将远在百里之外地震计记录的地面运动数据以毫秒级的延迟传回至地震数据中心进行处理。Victor Sardina 等人经过统计得出:太平洋海啸预警中心(The Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)对世界各地地震的平均响应时间已下降至6分钟,全球响应时间超过8分钟的区域已经消失<sup>[1]</sup>,布设更为密集的预警台站的仪器触发响应时间更是降低至2 s左右<sup>[2]</sup>。虽然基于TCP/IP协议的现行网络体系拥有较为完善的传输机制,但地震数据在采集器与流服务器之间、流服务器与流服务器之间传输时,仍有一些问题需要解决。例如:数据包大小多少合适?数据包在传输中错序到达如何解决?传输过程网络中断又恢复如何保证数据的连续性?以上问题需要通信双方按照协议来约定执行。因此,地震数据传输协议在保障地震数据的可靠性上扮演着十分重要的角色。

国内外基于TCP协议Socket请求响应式的地震实时数据传输协议有LISS(Live Internet Seismic Server)<sup>[3-4]</sup>、SeedLink<sup>[5]</sup>、NetSeis/IP<sup>[6]</sup>和Http<sup>[7-8]</sup>等,LISS协议已基本淘汰,NetSeis/IP协议和Http是目前国内地震速报预警系统Jopens流服务器之间数据传递的主要协议,SeedLink协议则是目前全球通用

的事实标准<sup>[9]</sup>,在数据汇聚、数据分发和数据共享等方面应用较广。国际通用的地震数据采集器厂商Reftek和Nanometrics等均支持SeedLink协议;地震学联合研究机构(Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS)和德国地球科学研究中心(GeoForschungsZentrum, GFZ)将接入的地震数据汇集至服务器,采用SeedLink协议提供近实时的数据共享服务。地震监测系统(Earthquake Monitoring System, EMS)或研究人员编写的代码通过访问其SeedLink服务器IP地址和端口,可获取相应地震台站数据流。当前两个国际主流的开源免费EMS——Earthworm<sup>[10]</sup>和Seiscomp<sup>[5]</sup>均支持SeedLink协议。Earthworm系统多用于北美区域台网<sup>[11-13]</sup>,软件核心组件及衍生产品集成了完善的算法,拥有活跃的社区用户。Seiscomp系统则多用于欧洲综合数据归档中心(European Integrated Data Archive, EIDA)、欧洲地震台网和数据中心<sup>[14-15]</sup>,2020年4月Seiscomp系统更新至第四版,该版本对核心组件进行了重大升级,提供了全面的文档并取消了使用许可认证,以此来吸引更多的开发人员贡献代码和插件<sup>[9]</sup>。由此可见,SeedLink协议在国际地震数据传递过程中均扮演重要角色。图1为EIDA位于挪威的UiB-NORSAR节点数据汇聚转发流程,展示了从不同渠道获取的地震数据通过SeedLink协议汇总到SeisComp系统归档,再通过FDSN和SeedLink接口共享出去。

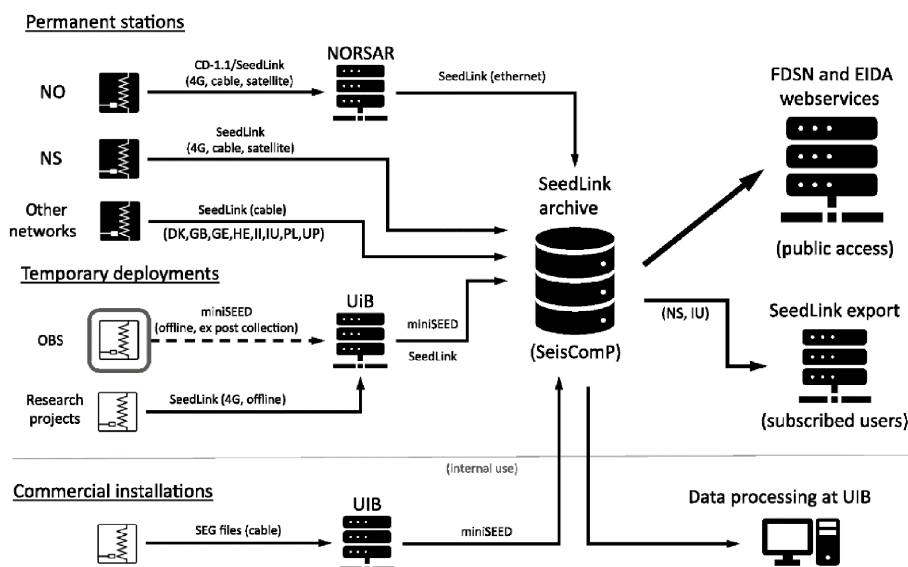


图1 EIDA位于挪威的UiB-NORSAR节点数据汇聚转发流程图<sup>[14]</sup>

Fig.1 Flow chart of data aggregation and forwarding of EIDA's UiB-NORSAR node in Norway<sup>[14]</sup>

由于 NetSeis/IP 和 SeedLink 协议在请求指令、传输端口和数据包头等方面存在不同,国内地震数据不能直接接入 Earthworm 和 SeedLink 等系统进行处理。为解决国际开源 EMS 系统本地化应用以及远程数据在线接收、传输和共享等问题,本文从数据传输格式入手,介绍 NetSeis/IP 和 SeedLink 协议的数据接收方法,提出了一种快速搭建 SeedLink 服务器的方法,一方面有助于解决开源 EMS 系统本地化的数据接入问题,另一方面为国内地震数据的在线传输和共享提供参考。

### 1 数据传输格式

SEED 作为一种国际数字地震数据交换标准,广泛应用于国内外地震观测台网数据归档中。地震数据通过压缩算法,结合数据文件的索引及台

网、台站控制头段等内容,形成相应的台网台站卷。SEED 数据往往过大,频繁的拆分及组装不利于网络实时传输,因此产生了仅存储数据部分的 MiniSeed 数据格式文件。MiniSeed 数据由固定头段,一个或两个字块序列组成的可变头段和数据区三部分组成,不包含台站控制头段和仪器响应等信息,每个数据包 512 字节。数据区包含一台仪器的某个通道在一定时间段内的原始时间序列数据,数据内容采用 Steim1 或 Steim2 压缩算法进行压缩<sup>[16]</sup>,整个数据区长度 448 字节。MiniSeed 数据格式具有数据传输率高、易于组装等特点,适合现代网络实时传送,被广泛应用到地震数据传输和交换领域,目前国内外地震数据实时传输协议传输的都是 MiniSeed 格式的数据包。图 2 展示了 MiniSeed 数据包格式。

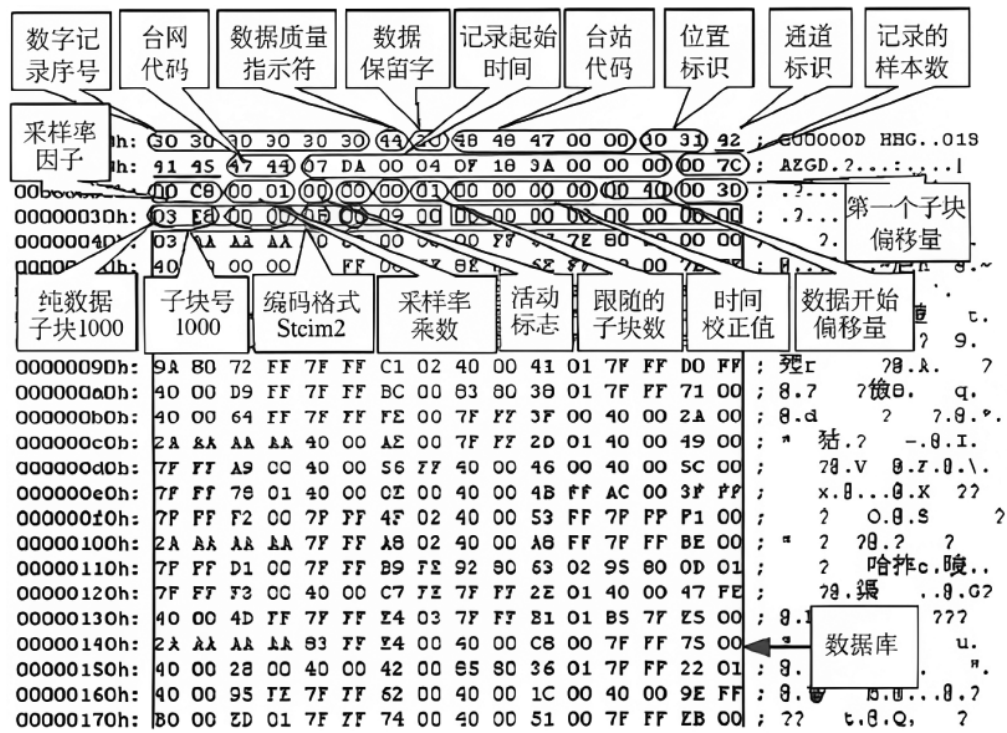


图2 512字节 MiniSeed 包数据格式示意图<sup>[17]</sup>

Fig.2 Schematic of data format of the 512-byte MiniSeed packet<sup>[17]</sup>

### 2 数据传输协议

#### 2.1 LISS 协议

美国阿尔伯克基地震实验室(Albuquerque Seismological Laboratory, ASL)于 1990 年开发了 LISS<sup>[4]</sup>协议,采用 Internet 技术接收中国数字地震台网(China Digital Seismic Network, CDSN)台站数据,

首次实现了地震波形数据在 Internet 上共享。协议基于 TCP/IP 的 Socket 连接实现,在 OSI 参考模型传输层基础上完成数据传输,继承了下层传输结构优点。由于 TCP 是面向连接的可靠传输,LISS 协议具有完善的流量控制和差错控制,可以改善实时地震数据传输的可靠性。LISS 系统采用互联网信道为介质进行传输,用户可通过互联网有选择地获取地震数据<sup>[18]</sup>。由于 LISS 协议的客户端与服务端连接后,没有更多的交互,虽然使用方便



但功能也受限,因此,虽然目前大部分地震仪器和速报软件还支持 LISS 协议的对接,但实际使用程度不及 SeedLink 等协议。

## 2.2 Http 协议

Http 协议是万维网之父蒂姆伯纳斯李(Tim Berners-Lee)<sup>[8]</sup>于 1990 年提出的一种广泛应用于 Web 服务的网络通信协议,在 RFC7230 中定义为:一种无状态的、应用层的、以请求/应答方式运行的协议,使用可扩展的语义和自描述消息格式,与基本网络的超文本信息系统灵活的互动。Http 定义了九种请求方法,分别是 GET、POST、HEAD、PUT、DELETE、OPTIONS、TRACE 和 CONNECT 等,每种请求方法规定了客户和服务端之间不同的信息交换方式,最常用的 GET 和 POST 方法<sup>[7]</sup>。在 Jopens 6.0 系统中采用 Http 协议传输 256 字节的 MiniSeed 数据,每 0.5 秒打一个包,缺值补 0,每秒传输 2 个包,以满足国家地震烈度速报预警系统地震数据快速传输需求。

## 2.3 NetSeis/IP 协议及数据请求方式

NetSeis/IP 协议<sup>[6]</sup>全名中国数字台网网络化通讯协议,由黄文辉于 2003 年左右设计开发,广泛应用于 Jopens 数字化地震台网系统 5.2 版本中。该协议类似 LISS 协议,但在对大型系统的适应能力方面较 LISS 协议有许多改善,较好地满足国内地震监测系统使用。NetSeis/IP 协议同样基于 TCP/IP 模型实现,拥有 TCP 的差错控制、流量控制等功能,有利于数据可靠传输。NetSeis/IP 协议采用身份认证及数据端口协商等机制,具有一定的安全性<sup>[18]</sup>。协议的交互方式类似 FTP 协议,控制命令与数据传输使用不同端口。默认在 5000 端口传输控制命令,验证正确后服务器会协商分配数据传输端口。

NetSeis/IP 协议数据请求流程如图 3(a)所示。首先,客户端向服务器传输控制端口发起连接请求,用户名密码验证成功后,建立起传输指令连接。然后,客户端发送 PASV RT 命令,获取服务器端分配的数据传输端口号,返回值是六个数组成的字符串,用于计算服务器指定的数据传输接口。前四个数值是数据传输服务器的 IP 地址,后两个数值用于计算数据传输端口,端口计算公式:

$$P = \alpha \times 256 + \beta \quad (1)$$

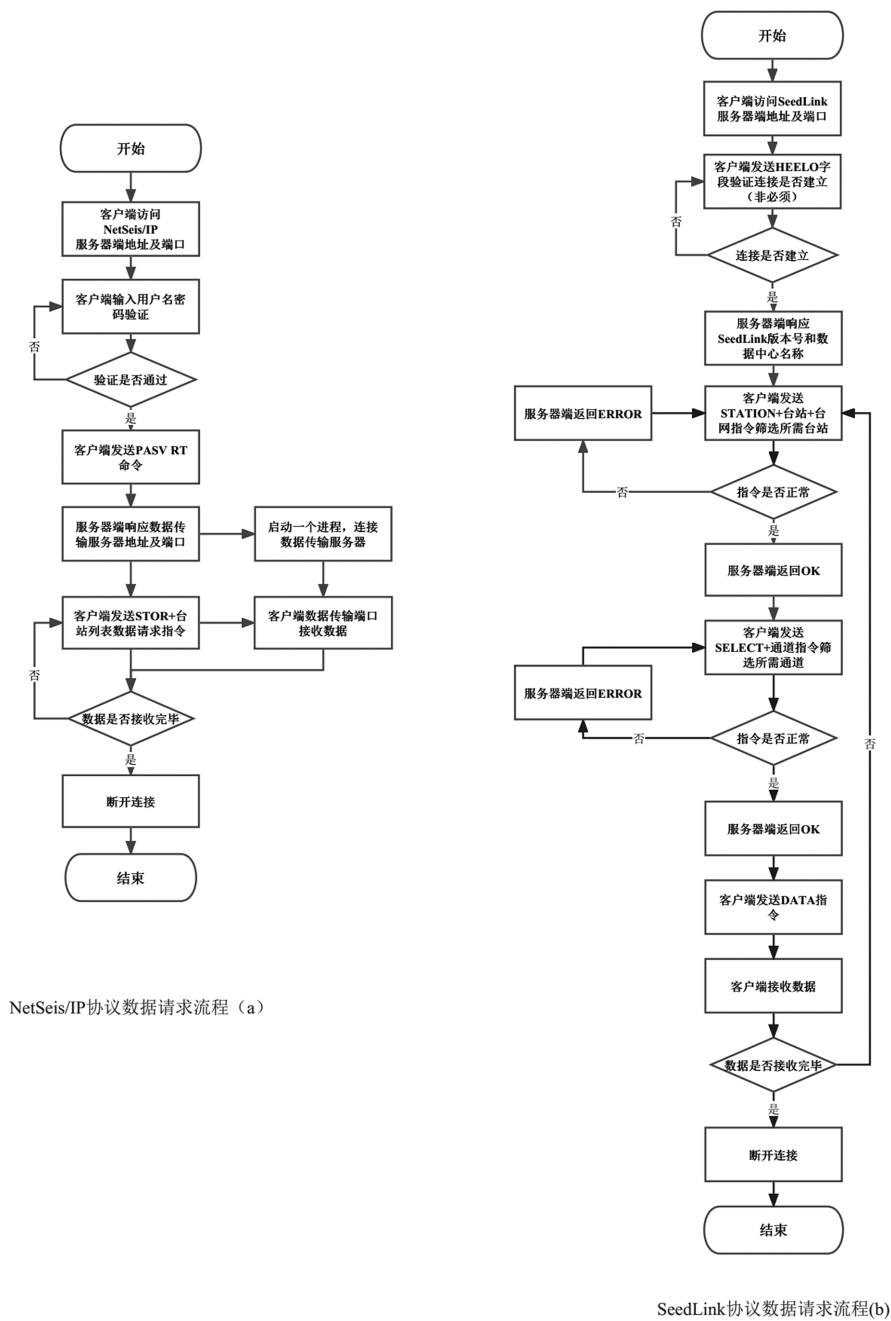
式中  $P$  为数据传输端口,  $\alpha$  是服务器返回的第五个字段,  $\beta$  是服务器返回的第六个字段。

例如:服务器端响应字符串为“192, 168, 1, 100, 35, 40”,则数据传输服务器接口的 IP 地址为 192.168.1.100,端口号为  $35 \times 256 + 40 = 9000$ 。客户端需再启动一个 Socket 连接至 192.168.1.100 服务器的 9000 端口,开启数据传输通道。最后,客户端在原传输控制指令连接发送 STOR+台站列表,即可从刚建立的数据通道获取所需台站 512 字节的 MiniSeed 实时数据流。

## 2.4 Seedlink 协议及数据请求方式

Seedlink 协议<sup>[5]</sup>是 GFZ 为地震速报预警系统 Seiscomp 开发的一套用于实时地震数据分发的传输协议,同样基于 TCP/IP 协议,拥有 TCP 的差错控制、流量控制等功能,使用 MiniSeed 数据格式进行传输,默认端口 18000。Seedlink 协议自发布以后被广泛采用,现已成为 IRIS、EIDA、GFZ 等众多地震研究机构和地震台网的标准通用协议。Seis-Comp3 系统<sup>[5]</sup>、Earthworm 系统<sup>[10]</sup>和 Antelope 系统<sup>[19]</sup>等众多知名的地震速报预警软件以及 Reftek 和 Nanometrics 等品牌的地震数据采集器均支持 Seedlink 数据传输协议。Python 地震学工具包 ObsPy 也集成了 SeedLink 客户端模块,用户可以通过两行简单的代码调取 SeedLink 服务器端实时数据。

SeedLink 的数据请求流程如图 3(b)所示。首先,客户端通过 Socket 向 SeedLink 服务器端口(默认 18000)发起连接请求,待 TCP 握手成功后,客户端发送 HELLO 字段验证连接是否建立,如果服务器返回 SeedLink 版本号及台网名称,表明双方连接已建立。然后,客户端发送 SELECT、STATION 指令来筛选和订阅台站,服务器正常接收指令则响应 OK。最后,客户端发送 DATA、FETCH 指令请求数据,SeedLink 服务器从同一端口向客户端发送 SeedLink 数据流。该数据流包含一个 8 字节的 SeedLink 头(含序列号)和 512 字节的 MiniSeed 数据包,按先进先出(First In First Out, FIFO)的顺序进行传输。SeedLink 头是一个 ASCII 字符串,由 SL 和 6 位十六进制的包序号组成,每个台站有属于自己的序号。数据获取有单通道和多通道模式,如果使用单通道模式请求多个台站,客户端需要查看 MiniSeed 头段来判定是哪个台站数据。



NetSeis/IP协议数据请求流程 (a)

SeedLink协议数据请求流程(b)

图3 NetSeis/IP服务器(a)和SeedLink服务器(b)数据请求流程图

Fig.3 Data request flowchart of NetSeis/IP server(a)and SeedLink server(b)

### 3 SeedLink 实时数据流服务器搭建

#### 3.1 研究意义

随着地震数据自动化处理技术的发展,网络带宽的不断提升,在线实时传输的地震数据流变得越来越流行。IRIS、GFZ、EIDA 以及众多国家级地震台网(如罗马尼亚实时地震台网<sup>[20]</sup>)、区域地震台网(如 UiB-NORSAR)都采用 SeedLink 协议来传输和共享数据。国内主要采用 Netseis/IP 协议和

Http 协议实现国内省级地震台网之间、省级地震台网与国家地震台网之间的 Jopens 系统数据交换,考虑到直接对接生产环境流服务器可能会影响速报预警业务的稳定性,一般国家台网和省级台网很少对外开放流服务,因此利用国内地震台站实时数据实现 Earthworm、Seiscomp 等 EMS 系统的本地化运行存在一定不便。

本文第二节介绍 SeedLink 协议的数据请求方式,本节介绍一种快速搭建 SeedLink 服务器的方法,开放 SeedLink 协议接口,提供实时 SeedLink 数据流。一方面为国外 EMS 系统本地化部署提供数

据基础；另一方面，对未来数据共享工作和实时数据传输提供参考。

3.2 实现方式

SeedLink 实时数据流服务器的工作方式是开辟一片内存缓冲区用于缓存本地 MiniSeed 格式数据，在指定端口监听客户端请求并于握手指令完成后按需向客户端提供 MiniSeed 数据包。目前快速搭建 SeedLink 服务器的主要方式有两种，一种是基于 GFZ 的 Seiscomp 插件，将其他协议的数据流转换为 SeedLink 协议数据流；另一种是基于 IRIS 的 RingServer 软件，开辟内存缓冲器并监听请求。第一种实现方式需安装 Seiscomp3 系统，通过插件将数据流转化为 SeedLink 数据流，这种实现方式支持本地 MiniSeed 文件、LISS 协议及 Reftek、Nanometrics 等数采。第二种实现方式由 RingServer<sup>[21]</sup>独立完成，支持 MiniSeed 和 SAC 格式文件。

RingServer 是一个由 IRIS DMC 提供的基于 Apache2.0 协议开源的环形数据流缓冲器，可以方便用户快速搭建基于 TCP 的 SeedLink 实时数据流。由 C 语言编写，核心模块包括 MiniSeed scanner 和 MiniSeed archiver，支持在 Linux、Solaris 或者 Mac

OSX 等操作系统上安装。软件的工作原理是扫描读取本地 MiniSeed 文件，将数据记录添加到 Ring buffer 环形缓冲器中，缓冲器遵循 FIFO 的原则，如果缓冲器满载，新加入的数据会将旧数据挤出缓冲器。RingServer 通过内存映射机制实现数据的鲁棒性，保证当 RingServer 停止并重启后，客户端不会丢失数据。第一种方式需依赖 Seiscomp3 系统，在使用过程中存在诸多不便，因此，本文以第二种基于 RingServer 的实现方式进行了 SeedLink 服务器的搭建和测试。

3.3 实施内容

以 VMware 虚拟机做测试，处理器选择 4 核，内存 4G，本地磁盘 80G，安装 CentOS7 操作系统，网络模式选择 NAT 共享主机 IP 模式，可以方便本机访问虚拟机 IP。首先，下载并编译 RingServer，生成可执行文件，将需要实时推送的数据文件 (MiniSeed 格式) 保存至指定目录 (本次将台站名为 ZD58 和 ZD69 的 MiniSeed 数据文件放置 MiniSeed 文件夹下)，开放虚拟机防火墙 18000 端口访问，然后，对 RingServer 进行配置，主要配置项如表 1 所示。

表 1 RingServer 软件主要配置项  
Table 1 The main configuration items of RingServer software

名称	默认配置	说明
RingSize	1 G	缓冲器空间大小
SeedLinkPort	18000	SeedLink 默认端口
ServerID	XX Ring Server	SeedLink 服务器端名称 (客户端发送 Hello 命令后显示)
TrustedIP	192.168.0.1/24	允许请求的客户端 IP 地址段
WriteIP	192.168.0.1/24	允许写入数据的 IP 地址段
TrustedIP	192.168.0.1/24	允许请求的客户端 IP 地址段
MSeedScan	<directory>	本地 MiniSeed 文件目录及匹配规则
AutoRecovery	1	中断自动恢复模式

最后，通过 `./ringserver ring.conf > ring.log 2>&1` 命令启动缓冲器，将允许日志写入 ring.log 方便审查，如果命令行没有报错且终端保持不变，表明 Ringserver 正常启动，可通过 telnet 端口测试服务是否建立，服务启动后终端并不再接受指令输入，用户可打开 `cat ring.log` 查看软件运行日志。

4 实时流服务器测试

4.1 服务测试

通过 Telnet 测试 SeedLink 指令，打开本地 CMD 终端，确保与服务器网络畅通，Telnet 连接 SeedLink 服务器地址和端口，依次输入连接和筛选指令，测试与 SeedLink 服务器的连接是否正常，测试指令及返回结果如表 2 所示。

表2 SeedLink服务器连接测试

Table 2 Link test of SeedLink server

测试指令	期望返回	实际返回	测试结果
Telnet	Network Name	YN Ring Server	正常
STATION	OK	OK	正常
SELECT	OK	OK	正常
DATA	OK	OK	正常
FETCH	OK	OK	正常

4.2 数据流测试

使用IRIS的Slinktool软件来检测SeedLink服务器数据接收情况。下载Slinktool源码编译生成可执

行文件，执行./slinktool -u 192.168.111.129: 18000命令打开Slinktool查看所接收到的数据，图4显示Slinktool获取到miniseed数据包的数据。

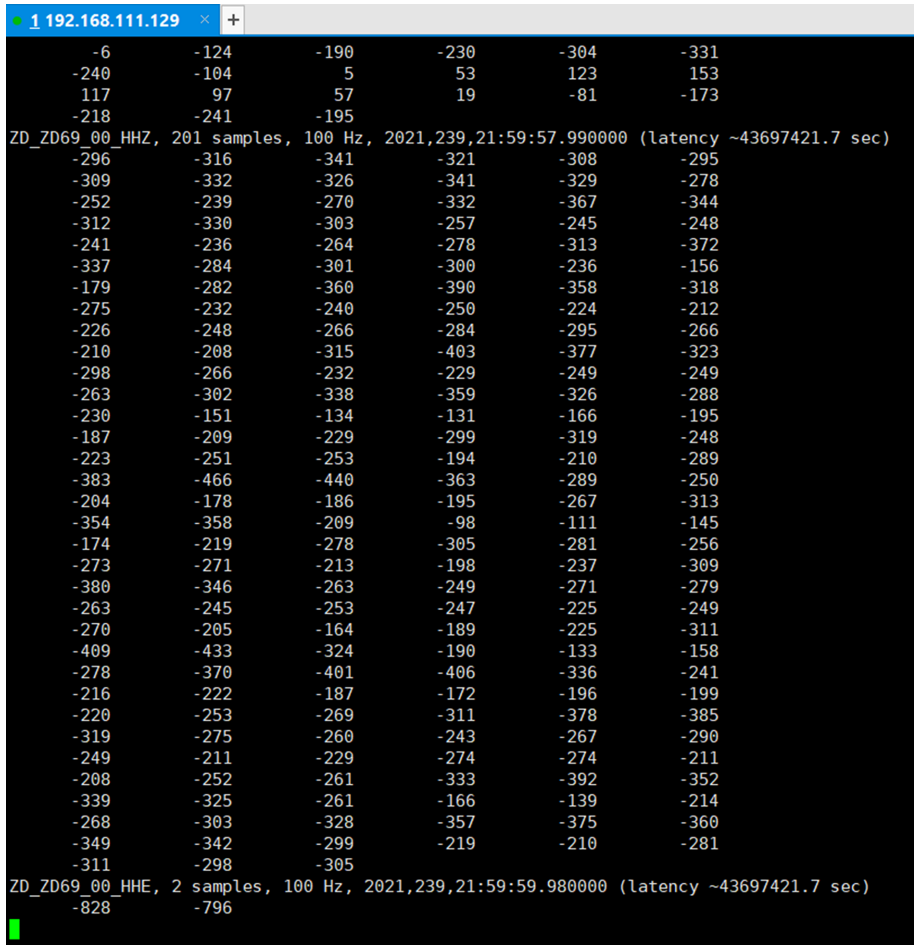


图4 利用Slinktool工具接收SeedLink服务器数据

Fig.4 SeedLink server data received by using Slinktool

5 讨论

通过Telnet的指令测试和Slinktool软件<sup>[22]</sup>接收的数据以及RingServer的日志文件来看，这种搭建方式可正常识别SeedLink协议指令，对请求主机和软件正常响应请求的数据，基本实现了SeedLink服

务器的功能，服务器数据缓存大小可以在Ring-Server的配置文件中自行定义。无论是NetSeis/IP还是SeedLink，数据传输的底层实现都基于OSI参考模型的TCP/IP协议栈，拥有TCP协议的差错控制、流量控制和数据校验等功能，能保证上层数据包的数据完整性，属于可靠传输。在TCP的基础上封装512字节的MiniSeed数据包，实现地震数据的



传输,但二者在数据包、指令和数据端口等方面略有不同,体现在:

➤数据包不同。SeedLink在MiniSeed包的基础上添加SL和6位十六进制的包序号组成的SeedLink包头,NetSeis/IP传输的是MiniSeed包。

➤数据接收端口不同。SeedLink协议的指令端口和数据端口默认都是18000,NetSeis/IP指令端口默认是5000,数据端口由服务器协商生成,不同连接的数据端口不相同。

➤指令不同。SeedLink指令包括HELLO、STATION、SELECT、DATA等,NetSeis/IP指令类似FTP协议如PASV、STOR等。

➤应用范围不同。国外绝大多数数据共享中心、台网中心、速报预警软件、地震计数据采集器均支持SeedLink协议。国内各省级测震台网使用的Jopens5.2系统采用NetSeis/IP协议。随着地震烈度速报与预警工程项目的推进推出的Jopens 6.0系统,采用Http协议进行数据传输Jopens5.2和6.0之间通过中间件程序实现数据流转换。

## 6 结语

本文介绍了几种地震实时数据传输协议发展历程和应用范围,对比了NetSeis/IP和SeedLink协议的数据请求步骤、指令和数据包格式,提出一种基于IRIS的开源软件RingServer的SeedLink服务器的搭建方式,在本地VMware虚拟机CentOS7系统上进行了验证,通过Telnet和Slinktool测试了该方式搭建的SeedLink服务器的指令响应和数据传输,为国际主流EMS软件本地化运行和我国地震数据在线共享提供参考。

## 参考文献

- [1] Sardina V, Koyanagi K, Weinstein S. Baseline assessment of the importance of contributions from regional seismic networks to the Pacific Tsunami Warning Center's operations[J]. Seismological Research Letters, 2020, 91(2A): 687-694.
- [2] 杜航, 王俊, 江昊琳, 等. 中国地震预警延迟时间算法及其对预警盲区的影响研究[J]. 中国地震, 2021, 37: 216-226.
- [3] Namdae J, Baag C-E. The 20 January 2007,  $M_w$  4.5, Odaesan, Korea, earthquake[J]. Geosciences Journal, 2007, 11(1): 51-58.
- [4] Wilson D. ASL home page[EB/OL]. (2023-04-18)[2023-08-04]. <https://www.usgs.gov/centers/geologic-hazards-science-center/albuquerque-seismological-laboratory>.
- [5] Gfz. Seiscomp3 system home page[EB/OL]. (2020-11-05)[2023-08-04]. <https://docs.gempa.de/seiscomp3/current/ap->
- [ps/seedlink.html](https://seedlink.html).
- [6] 黄文辉. NetSeis/IP设计与实现[M]. 北京:地震出版社, 2003.
- [7] Fielding R N M, Reschke J. HTTP Semantics[EB/OL]. (2022-06-01)[2023-08-04]. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9110>.
- [8] Berner-Lee T. Basic HTTP as defined in 1992[EB/OL]. (2014-06-01)[2023-08-04]. <https://www.w3.org/Protocols/>.
- [9] Quinteros J, Strollo A, Evans P L, et al. The GEOFON Program in 2020[J]. Seismological Research Letters, 2021, 92(3): 1610-1622.
- [10] Friberg P. Earthworm home page[EB/OL]. (2019-08-20)[2023-08-04]. <http://www.earthwormcentral.org/>.
- [11] Hartog J R, Friberg P A, Kress V C, et al. Open-source ANSS quake monitoring system software[J]. Seismological Research Letters, 2019, 91(2A): 677-686.
- [12] Power J A, Haney M M, Botnick S M, et al. Goals and development of the Alaska volcano observatory seismic network and application to forecasting and detecting volcanic eruptions[J]. Seismological Research Letters, 2020, 91(2A): 647-659.
- [13] Ebel J E, Chapman M C, Kim W Y, et al. Current status and future of regional seismic network monitoring in the central and eastern United States[J]. Seismological Research Letters, 2019, 91(2A): 660-676.
- [14] Ottemöller L, Michalek J, Christensen J M, et al. UiB-NOR-SAR EIDA node: integration of seismological data in Norway[J]. Seismological Research Letters, 2021, 92(3): 1491-1500.
- [15] Cauzzi C, Custódio S, Evangelidis C P, et al. Preface to the focus section on European seismic networks and associated services and products[J]. Seismological Research Letters, 2021, 92(3): 1483-1490.
- [16] 杨周胜, 杨晶琼, 姚远. 地震交换标准数据的压缩技术和数据解压[J]. 地震研究, 2019, 42(01): 144-149+152.
- [17] 嵌入式Linux系统下强震实时数据与地震流服务通信传输的实现[J]. 地震地磁观测与研究, 2013, 34(S2): 171-178.
- [18] 李大辉, 韩磊, 黄文辉. LISS系统在中国数字地震台网的应用设想[J]. 地震地磁观测与研究, 2001, 22(01): 63-67.
- [19] Kinematics. Antelope home page[EB/OL]. [2023-08-04]. [https://kinematics.com/post\\_products/antelope/](https://kinematics.com/post_products/antelope/).
- [20] Neagoe C, Ionescu C. Toward a dense real-time seismic network in Romania[J]. Romanian Reports in Physics, 2009(61): 359-366.
- [21] Ringler A T, Hagerty M T, Holland J, et al. The data quality analyzer: A quality control program for seismic data[J]. Computers & Geosciences, 2015(76): 96-111.
- [22] Trabant C. Slinktool introduction[EB/OL]. (2010-03-06)[2023-08-04]. <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/software/downloads/slinktool/>.