**接收机授时精度测试实验**

**背景介绍**：在利用多台站TDOA算法定位时，十分重要的一点是确定台站信号到达各个站点的时间差，获得准确时间差的前提是需要保证各站时间能够同步。VLF接收机采用了高精度GPS授时模块授时，具有纳秒量级的精度，理论上能够保证各接收站的时间同步。

目的：为了验证不同VLF接收机具有高精度的时间同步性，以及同接收机双通道的时间具有同步性。

**过程：**数据处理实验包括两个部分，一是基于单个接收机数据，对比分析EW/NS通道数据的时域波形(特别是对闪电波形的观察)，二是基于两个接收机数据，对比分析同EW通道或者同NS通道数据的时域波形(全数据段)。

**方法：**确定两台接收机时间是否同步的一种方法，是将两台接收机放在同一地点同时接收数据，按照理论而言，两者相同通道的时域信号波形应该完全重合的，为了方便观察，可以选择具有高度辨识度的闪电信号波形进行对比；另外，对于同接收机不同通道而言，由于台站信号具有方向性，导致在非闪电段EW/NS通道的时域信号波形本身自带较大差异不方便对比，而在闪电段两个通道的时域信号波形具有相似性且易于辨识，故在不同通道对比中主要对比闪电段的数据。

**具体步骤：**

1. 运行“lightning01.m”文件。同目录下存放有“Wuhan”文件夹，其下有两个子文件夹“wuhan”，“wuhanbug”分别存放着在同一时间段(2019-10-17 15:00:00-16:00:00)在楼下服务器上运行的接收机和在楼上实验室调试用接收机接收的数据。点击运行“lightning01.m”文件，在随后出现的文件对话框中分别选择两个文件夹中同时刻的数据(文件时间在文件名中有标出)。以下面两个文件为例进行分析：

“EWNS,Trig,wuhan,1860,250000.00,10s\_50s,20191017\_150000,30.54N,114.37E.cos”和

“EWNS,Trig,jianlidebug,0,250000.00,10s\_10s,20191017\_150000,30.54N,114.37E.cos”（调试机地点命名为“jianlidebug”有误，应为“wuhandebug”，不过不影响数据分析）。

1. 结果与分析。
   1. 对单个接收机EW/NS通道数据的时域波形对比分析。

FarStaEWNS

图 1

在上图中，“FarSta”代表“wuhan”站，“EW/NS”表示通道，条状突出部分代表闪电信号。粗略地看，EW/NS通道接收到闪电信号的强度大部分是不相同的，这是由于闪电信号在正南正北方向的分量大小不同造成的，对于两个通道中能够明显分辨出接收到闪电的时刻，信号的接收时刻基本上是对的上的，即从整体角度可以粗略观察到时间是对齐的。那么为得到更加精确的比较结果，在下文中对闪电段波形进行比对。

NearStaEWNS

图 2

在上图中，“NearSta”代表“wuhandebug”站，“EW/NS”表示通道，与观察图1的结论一样，两个通道对于同一闪电信号到达时刻的记录是一样的。

FarStaEWLightning1

图 3

图3是显示了图1中某个闪电信号的波形细节，为了便于观察，将两个通道的波形放到一起进行比较，不难发现，两个通道的波形具有对称性，这很可能是由于某个通道在接天线时将接口接反了造成了相位相差，假设是NS方向的天线接反了，那么将NS通道的波形以y=65535/2为轴进行翻转，处理后的波形对比图如下。

FarStaEWLightning1_翻转

图 4

明显可以看到，经过翻转之后，NS通道在闪电段的数据基本能与EW通道相符合，这表明两通道的时间戳基于上是完全一致的，误差不超过一个采样点（4us）。更多闪电段的波形比较图在附录中。

* 1. 对两接收机同通道数据的时域波形对比分析

选择两个接收机在EW通道10s的数据，进行对比。

FarNearEW

图 5

“FarStaEW”代表“wuhan”站，“NearStaEW”代表“wuhandebug”，由于wuhan站采用的机器上位机程序中时间戳有1s的固定延迟（例如时间戳上显示00:00开始采集的数据实际上是从00:01开始采集的），可以看到上半图相较于下半图波形相似但是一个明显的偏移，按照这个思路，那么“FarStaEW”数据的前9秒数据应该与“NearStaEW”数据的后9秒的数据具有同时性，将这两段数据放在下图进行比较，并做轴对称操作消除相位差π，结果如下:

FarNearEW_9s

图 6

可以看到整体上波形是基本匹配上的，那么对于波形细节，选取左侧第一次出现的明显的闪电信号，其波形如下：

FarNearEW_9s_onepic

图 7

图中标注了多处闪电波形峰值和谷底的横纵坐标值用以比较，发现“wuhandebug”的波形较“wuhan”的波形提前1到2个采样点，这表明两台接收机的授时误差不会超过1到2个采样点（每个采样点间隔4us）。对于非闪电段的波形，发现两接收机的信号波形虽然具有相似性，但在局部细节上并不能完全一致，这对同通道的数据而言是否不合理呢？或者是说由于测量环境略有差异而导致的波形不能完全匹配，若是这样，则说明接收机数据对环境很敏感。

**结论：**

1. 通过对单个接收机不同通道的闪电信号波形比较，可以判断双通道的时间具有高精度的一致性，其误差小于1个采样点（4us）。
2. 通过对于两个接收机同通道的闪电信号波形比较，发现两接收机在闪电段的波形有1到2个采样点的时间偏移，说明两台接收机的授时误差不会超过1到2个采用点，当然，目前不能完全确定这种偏差是由于授时误差造成的，具体原因有待进一步探究。
3. 两台接收机同通道的数据波形虽然具有相似性但是在局部依然有较多明显的差异，可能是由于不同接收机的测量环境差异造成的。

**可能存在的问题：**

1. 选取分析的数据文件数量较少，而且是下午的数据，不清楚在晚上数据分析的结论如何。
2. 按理来说，两接收机的授时误差会在4us秒以内，那么导致上图波形偏移的原因是什么呢？
3. 同地点两个接收机同通道的数据为何不能完全一致？

**附录**：

1. **更多闪电段波形**
   1. **FarStaEW/NS**

FarStaEWLightning3FarStaEWLightning4FarStaEWLightning2

* 1. **Far/NearSta EW**

**FarStaEWNSLightning2FarStaEWNSLightning3FarStaEWNSLightning4**

2.**“lightning01.m”源码**

%% lightning01.m

%% 主要观察闪电信号

clearall **;**closeall **;**clc**;**

%% 提取远站的EWNS通道数据

fs**=**250000**;**%采样率

%远站信号提取

FilterSpec **={** '\*.cos'**,**'COS文件(\*.cos)'**;**'\*.\*'**,**'所有文件'**};**

**[**FileName**,**PathName**,**FilterIndex**] =** uigetfile**(**FilterSpec**,**'请选择一个远站数据'**,**'C:\Users\P.R\Desktop\vlfdata\20170501\_080000'**);**%文件名包含后缀

**[**file\_id**,**message**] =** fopen**([**PathName**,**FileName**],**'rb'**);**

disp**(**FileName**);**

**if** file\_id **<** 0%打开错误

disp**(**message**);**

**end**

Rawdatas **=** fread**(**file\_id**,**'uint16'**);** %按数据存储方式读取

Rawdatas **=** Rawdatas**';** %对数据转置

fclose**(**file\_id**);** %16bits长度，即数据长度

%判断单通道还是双通道

**if(**strcmp**(**FileName**(**1**:**4**),**'EWNS'**))**

j **=** 1**;**

L **=** length**(**Rawdatas**);**

EWdata **=** zeros**(**1**,**L**/**2**);**

NSdata **=** zeros**(**1**,**L**/**2**);**

**for** i**=**1**:**2**:**L

EWdata**(**j**) =** Rawdatas**(**i**);**

NSdata**(**j**) =** Rawdatas**(**i**+**1**);**

j **=** j**+**1**;**

**end**

% A = NSdata;%选取一个通道，或A = EWdata

% B = EWdata;

**end**

FarStaEW**=**EWdata**(**1**:**fs**\***10**);**%远站EW通道10s数据

FarStaNS**=**NSdata**(**1**:**fs**\***10**);**%远站NS通道10s数据

%% 提取近站的EWNS通道数据

FilterSpec **={** '\*.cos'**,**'COS文件(\*.cos)'**;**'\*.\*'**,**'所有文件'**};**

**[**FileName**,**PathName**,**FilterIndex**] =** uigetfile**(**FilterSpec**,**'请选择一个近站数据'**,**'C:\Users\P.R\Desktop\vlfdata\20170501\_080000'**);**%文件名包含后缀

**[**file\_id**,**message**] =** fopen**([**PathName**,**FileName**],**'rb'**);**

disp**(**FileName**);**

**if** file\_id **<** 0%打开错误

disp**(**message**);**

**end**

Rawdatas **=** fread**(**file\_id**,**'uint16'**);** %按数据存储方式读取

Rawdatas **=** Rawdatas**';** %对数据转置

fclose**(**file\_id**);** %16bits长度，即数据长度

%判断单通道还是双通道

**if(**strcmp**(**FileName**(**1**:**4**),**'EWNS'**))**

j **=** 1**;**

L **=** length**(**Rawdatas**);**

EWdata **=** zeros**(**1**,**L**/**2**);**

NSdata **=** zeros**(**1**,**L**/**2**);**

**for** i**=**1**:**2**:**L

EWdata**(**j**) =** Rawdatas**(**i**);**

NSdata**(**j**) =** Rawdatas**(**i**+**1**);**

j **=** j**+**1**;**

**end**

% A = NSdata;%选取一个通道，或A = EWdata

% B = EWdata;

**end**

NearStaEW**=**EWdata**(**1**:**fs**\***10**);**%近站EW通道10s数据

NearStaNS**=**NSdata**(**1**:**fs**\***10**);**%近站NS通道10s数据

%% 比较同机器两通道的波形

bShowFar**=**1**;**

bShowNear**=**1**;**

%远站波形

**if(**bShowFar**)**

figure

subplot**(**2**,**1**,**1**)**

plot**(**FarStaEW**,**'-o'**);**

title**(**'FarStaEW'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

subplot**(**2**,**1**,**2**)**

plot**(**65535**-**FarStaNS**,**'-o'**);**

title**(**'FarStaNS'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

figure

plot**(**FarStaEW**,**'-o'**);**

holdon

plot**(**65535**-**FarStaNS**,**'-o'**);**

legend**(**'FarStaEW'**,**'FarStaNS'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

**end**

%近站波形

**if(**bShowNear**)**

figure

subplot**(**2**,**1**,**1**)**

plot**(**NearStaEW**,**'-o'**);**

title**(**'NearStaEW'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

subplot**(**2**,**1**,**2**)**

plot**(**NearStaNS**,**'-o'**);**

title**(**'NearStaNS'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

figure

plot**(**NearStaEW**,**'-o'**);**

holdon

plot**(**NearStaNS**,**'-o'**);**

legend**(**'NearStaEW'**,**'NearStaNS'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

**end**

%% 比较不同机器两通道的波形

% EW通道

bShowEW**=**1**;**

bShowNS**=**1**;**

**if(**bShowEW**)**

figure

subplot**(**2**,**1**,**1**)**

plot**(**FarStaEW**,**'-o'**);**

title**(**'FarStaEW'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

subplot**(**2**,**1**,**2**)**

plot**(**NearStaEW**,**'-o'**);**

title**(**'NearStaEW'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

figure

plot**(**FarStaEW**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

holdon

plot**(**NearStaEW**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

legend**(**'FarStaEW'**,**'NearStaEW'**);**

**end**

% NS通道

**if(**bShowNS**)**

figure

subplot**(**2**,**1**,**1**)**

plot**(**FarStaNS**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

title**(**'FarStaNS'**);**

subplot**(**2**,**1**,**2**)**

plot**(**NearStaNS**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

title**(**'NearStaNS'**);**

figure

plot**(**FarStaNS**,**'-o'**);**

holdon

plot**(**NearStaNS**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

legend**(**'FarStaNS'**,**'NearStaNS'**);**

**end**

%% far前9秒，near后9秒

**if(**1**)**

figure

subplot**(**2**,**1**,**1**)**

FarStaEW9s**=**65535**-**FarStaEW**(**1**:**fs**\***9**);**

plot**(**FarStaEW9s**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

title**(**'FarStaEW'**);**

subplot**(**2**,**1**,**2**)**

NearStaEW9s**=**NearStaEW**(**1**+**fs**\***1**:**fs**\***10**);**

plot**(**NearStaEW9s**,**'-o'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

title**(**'NearStaEW'**);**

figure

plot**(**FarStaEW9s**,**'-o'**);**

holdon

plot**(**NearStaEW9s**,**'-o'**);**

legend**(**'FarStaEW'**,**'NearStaEW'**);**

xlabel**(**'时间(采样点\4us)'**);**

ylabel**(**'电压数值'**);**

**end**