

doi:10.13442/j.gnss.1008-9268.2018.02.011

干扰信号对电磁脉冲定位精度影响分析

刘明¹, 苗家友², 沈宇³, 刘裔文³

(1. 96669 部队 610 分队, 北京 100036; 2. 火箭军研究院, 北京 100094;

3. 中国电波传播研究所, 山东 青岛 266107)

摘要: 随着工业的快速发展, 电磁干扰呈现愈加频繁的趋势, 部分频段相近的干扰信号会影响电磁脉冲探测定位系统的正常使用。文中仿真分析了干扰信号对电磁脉冲定位精度的影响, 并提出对于时间偏差较大的干扰, 可以通过均方偏差来找出是否存在干扰, 然后再用组合定位的方法确定干扰信号。文中结果可直接用于电磁脉冲探测定位系统的设计、定位精度改善等, 对提高电磁脉冲探测系统的可靠性具有重要意义。

关键词: 干扰; 电磁脉冲; 时差定位

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2018)02-0060-05

0 引言

电磁脉冲, 主要由自然界雷电或人工核爆炸产生; 近年来, 随着工业的发展, 一些电子设备, 如开关电源、汽车点火器、电力线、通信线都可能辐射出电磁脉冲信号; 另外, 雷达、以及其他电子设备未做好电磁屏蔽也可能导致电磁脉冲泄露。电磁脉冲对用电设备、测量设备和通信设备都可能造成不同程度的影响, 轻则影响测量精度, 重则导致设备烧毁, 对国防、经济造成无法弥补的损失。为此, 及早发现有害电磁脉冲源采取有效的措施, 可将影响降到最低。

在 GNSS 定位系统等一些工程应用中, 通常把上述干扰信号形成的误差称为粗差, 并开展了大量抗粗差方法研究^[1-2]。对于电磁脉冲试验分析等一般应用来说, 干扰信号通常作为小概率事件被忽略掉。但是, 针对一些对定位精度和准确度有较高需求的工程应用场景, 干扰信号的影响不能被简单忽略。本文旨在量化干扰信号对电磁脉冲定位精度的影响, 分析其严重程度。文章首先介绍常用电磁脉冲定位方法, 然后仿真分析干扰信号对电磁脉冲定位精度的影响, 对实际工程中排除干扰, 为实现高精度、高可靠性定位提供依据。

1 电磁脉冲定位方法概述

目前常用的电磁脉冲定位方法为双曲时差定位方法, 时差定位算法(TDOA)是通过对多个探头接收到的时间差进行定位处理, 得到电磁脉冲的具体位置。任两站的到达时间差只要小于两站间距离电磁波的传播时间, 即可画出一条双曲线, 当有两条或多条双曲线交于一点, 则该点即为电磁脉冲发生的位置。时差定位算法分两种情况^[3-4]:

1) 当有三个探测站 P1、P2、P3 收到信号时

记 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 为电磁脉冲到探测站对应的圆心角, 设地球的半径为 R_0 , 根据

$$\begin{cases} \cos\theta_1 = xx_1 + yy_1 + zz_1 \\ \cos\theta_2 = xx_2 + yy_2 + zz_2 \\ \cos\theta_3 = xx_3 + yy_3 + zz_3 \\ \theta_2 = \theta_1 + C(t_2 - t_1)/R \\ \theta_3 = \theta_1 + C(t_3 - t_1)/R \\ x^2 + y^2 + z^2 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

求解该方程组即得脉冲事件的坐标 S。

2) 当多于三个探测站收到信号时

当三个以上探测接收机收到电磁脉冲信号, 所确定的双曲线将多于三条, 由于各种误差的影响, 不可能交于一个点, 而是各曲线围成多边形区域, 为利用多站信息减小定位误差, 采用最小二乘算法

进行定位。

假设真实脉冲源位置为 S , 发生的时间为 t ; 估计的脉冲源位置为 S' , 第 i 个探测接收机收到的时刻为 t_i , 与 S 间的距离为 r_i ; 对应的距离误差为:

$$e_i = r_i - \frac{C(t_i - t)}{R_e}, \quad (2)$$

式中: R_e 为地球平均半径; C 为电磁波在空气中的传播速度。

各探测接收机的误差平方和为

$$E(\Omega, \sigma, t) = \sum_{i=1}^n \left(r_i - \frac{C(t_i - t)}{R_e} \right)^2. \quad (3)$$

满足 E 最小的 S 即为所求的电磁脉冲位置, 则有:

$$\begin{cases} \frac{\partial E(\Omega, \sigma, t)}{\partial \Omega} = 0, \\ \frac{\partial E(\Omega, \sigma, t)}{\partial \sigma} = 0, \\ \frac{\partial E(\Omega, \sigma, t)}{\partial t} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

以上方程为非线性方程, 通过迭代方法求解。下文所用的定位方法为时差定位方法。

2 干扰信号实例

对于要进行定位的电磁脉冲, 任何频带相邻的、发生时间相近的电磁信号都可能是干扰, 干扰的来源包括雷电放电、用电机械、电器电子设备、电力传输线或内燃机点火等。

图 1 示出了一次试验期间获取的雷电事件被干扰的实例。该次事件四个站接收时间分别为: 2 号站 01: 16: 28.6852329, 3 号站 01: 16: 28.6852813, 4 号站 01: 16: 28.6849956, 5 号站 01: 16: 28.6888340。

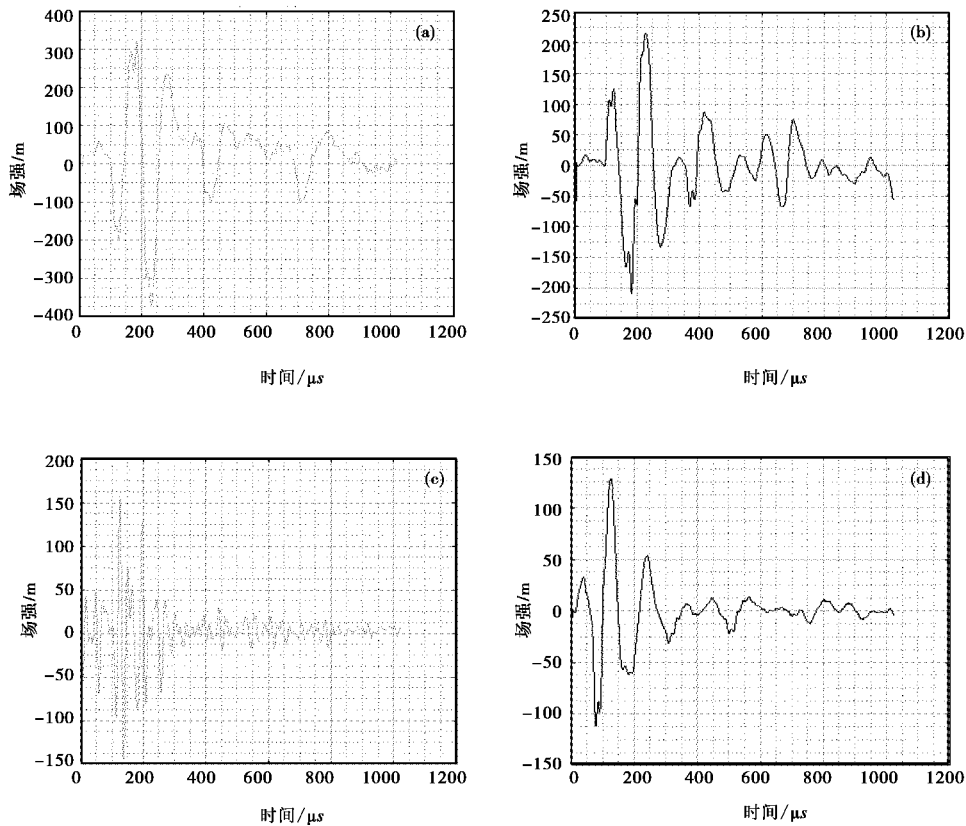


图 1 2017 年 11 月 8 日获取的一次受干扰雷电事件波形 (a) 2 号站; (b) 3 号站; (c) 4 号站; (d) 5 号站;

从图1可以看出,4号站接收的波形显然与其它站接收波形不相关。但是从到达时间上来看,4号站与2号站、3号站波形到达时间差小于0.3 ms(相当于距离差90 km),而4号站与2号站、3号站的基线距离分别为400 km、300 km;另外,4号站与5号站波形到达时间差约4 ms(相当于距离差1200 km),而4号站与5号站基线距离为1260 km。因此,仅从到达时间上来看,无法判断出干扰信号。

3 误差仿真

为分析干扰信号对定位精度的影响,我们利用matlab构建了一个四站仿真环境,给定四个站的位置如图2所示,假设在(105°E,34°N)处发生一次电磁脉冲事件(如图中圆圈所示)。首先计算每个接收站理论到达时间,然后对每个接收站叠加一个小于100 μ s的随机偏差,最后选取某一站点加入不同固定偏差,并计算不同固定偏差下的定位误差以及均方误差。图2中圆点为四站仅引入小的随机偏差情况下的定位结果,可以看出定出的位置和真实位置基本重合。

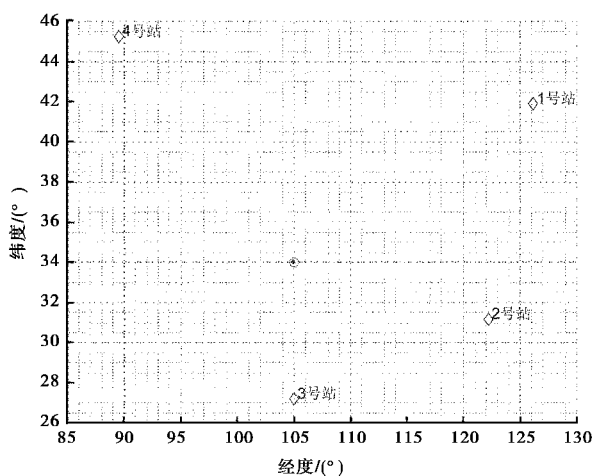


图2 4个接收站点位置分布

图3示出了2号站引入固定偏差情况下的定位仿真结果。引入的固定偏差从-20~20 ms,步进为1 ms,图中点为引入不同固定偏差时的定位结果,圈为真实的事件位置。从图3可以明显看出,随着引入固定偏差增大,定位的位置偏差也不断增大。

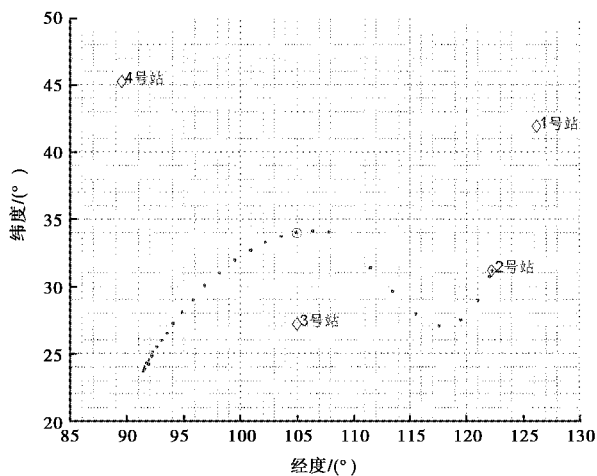


图3 引入不同固定偏差时的定位仿真结果

图4示出了与图3对应的不同时间偏差下的定位误差和均方偏差。从图4可以看出随着引入的时间偏差不断增加,定位误差和均方偏差均快速增加。表1给出了1 ms以内不同时间偏差情况下的定位误差和均方偏差。从图4和表1结果可以看出,时间偏差0.3 ms时,定位误差超过30 km左右;时间偏差1 ms时,定位误差即可达到100 km左右。但是,当时间偏差较小时,例如小于0.3 ms时,干扰信号所引起的定位误差和均方偏差都不显著,此时若不做处理,容易混入正常信号进行计算,影响其他定量计算结果的精度。

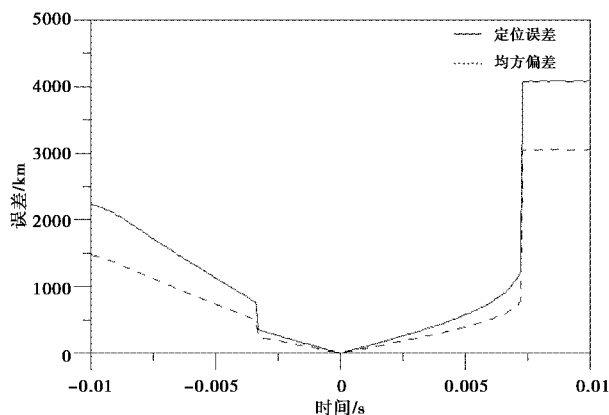


图4 引入不同时间偏差时的定位误差和均方偏差

表1 不同时间偏差情况下的定位误差和均方偏差(1 ms以内结果)

时间偏差/s	定位误差/km	均方偏差/km	时间偏差/s	定位误差/km	均方偏差/km
-0.001	100.171 58	70.901 614	0.000 1	6.418 498	4.815 086
-0.000 9	88.086 308	61.875 341	0.000 2	21.817 557	15.901 677
-0.000 8	81.159 953	57.007 354	0.000 3	34.057 994	23.934 149
-0.000 7	65.503 251	46.269 105	0.000 4	41.832 72	29.886 812
-0.000 6	63.225 875	44.454 586	0.000 5	49.266 185	34.863 674
-0.000 5	44.392 426	31.327 731	0.000 6	66.446 815	47.072 394
-0.000 4	42.289 205	29.764 092	0.000 7	65.199 509	45.298 63
-0.000 3	29.658 541	21.269 108	0.000 8	84.242 081	59.358 464
-0.000 2	12.306 971	8.703 928	0.000 9	93.978 998	66.962 66
-0.000 1	11.566 968	8.592 168	0.001	96.703 702	67.789 568
0	2.371 872	1.509 297			

4 干扰排除方法初步分析

通过上述分析表明,当干扰信号到达时间与理论时间偏差较大时,所引起的定位误差和均方偏差都很大。实际工程应用中可能无法获取定位误差信息,但通过图3仿真分析可以看出,此时可以通过均方偏差来判断是否存在干扰信号。一般利用假设检验技术,首先统计得到无干扰信号下的正常观测均方误差范围,然后将均方根误差为正常观测误差的3倍以上作为粗差是否存在的判据。然后,若判断出存在粗差,进一步采用组合定位的方法,对干扰信号进行排查。

表2示出了图3对应的组合定位结果。假设2号站受到干扰,干扰的时间偏差为1 ms,各站组合定位获取的定位误差和均方偏差。可以看出不包含干扰的组合(1,3,4)组合定位误差最小,到各站距离均方差也最小,包含干扰的组合定位误差和均方偏差都显著大于正常值,因此实际应用中通过均方偏差可以排查出干扰信号。

表2 各站组合定位偏差对比

组合方式	定位误差/km	均方偏差/km
1,3,4	0.33	0.25
1,2,4	435.97	202.01
1,2,3	1 206.4	993.21
2,3,4	1 130.92	924.88
1,2,3,4	126.42	90

但是,当干扰信号到达时间与理论时间非常接

近时,其对定位精度的影响较小,直接用上述方法难以排查出。需要进行信号层面的分析,例如相关分析、频域分析、高阶矩分析等。具体的信号层面的相关分析在另文中讨论。

5 结束语

本文重点分析了干扰信号对电磁脉冲定位精度的影响,仿真结果表明,干扰信号时间偏差0.3 ms时定位误差超过30 km左右,时间偏差1 ms时定位误差即可达到100 km左右,且均方偏差也很大,实际应用中若不加以剔除会严重影响正常事件的定位处理。当时间偏差较小时,例如小于0.3 ms时,干扰信号所引起的定位误差和均方偏差都不显著,若不做处理,容易混入正常信号进行计算,影响其他定量计算结果的精度。此外,本文对干扰信号排除方法也进行了初步分析,提出当干扰信号偏差较大时,可以通过均方偏差来找出是否存在干扰,然后再用组合定位的方法确定干扰信号。本文结果对电磁脉冲探测定位系统中粗差的排查具有重要意义。

参考文献

- [1] 宋力杰,杨元喜. 论粗差修正和粗差剔除. [J]. 测绘通报, 1999(6): 5-7.
- [2] 欧吉坤. 粗差的拟准检定法(QUAD)[J]. 测绘学报, 1999, 28(1):15-20.
- [3] 徐济仁,薛磊. 最小二乘方法用于多站测向定位的算法[J]. 电波科学学报, 2001, 16(2): 227-230.
- [4] 蒋正龙. 湖南雷电定位系统定位算法的研究[J]. 湖南电力, 2000, 20(6): 6-9.

作者简介

刘明 (1981—),男,工程师,主要研究方向为核爆探测技术。

苗家友 (1977—),男,助理研究员,主要研究方向为侦察预警与核爆探测技术等。

沈宇 (1991—),男,工程师,主要研究方向为电波应用技术等。

刘裔文 (1986—),男,高级工程师,主要研究方向为电离层电波传播等。

Analysis of the Influence of Electromagnetic Interference on the Positioning Accuracy of Electromagnetic Pulse Detection System

LIU Ming¹, MIAO Jiayou², SHEN Yu³, LIU Yiwen³

(1. 96669 Army, Beijing 100036, China; 2. Rocket Armament
Research Institute, Beijing 100094, China; 3. China Research Institute of Radio
wave propagation, Qingdao 266107, China)

Abstract: With the development of industry, the electromagnetic interference is becoming more and more frequent. Some kinds of interference signals will affect the normal use of the electromagnetic pulse detection system. Computer simulation analysis has been carried out in this paper to reveal the influence of electromagnetic interference on the positioning accuracy. The results can be used on designation of electromagnetic pulse detection system, and it will be very useful to improve the reliability of such system.

Keywords: Electromagnetic interference; electromagnetic pulse; TDOA