

基于 TDOA 原理计算信号源位置的算法探讨

唐 皓 吴季达 鲁东生

(云南省无线电检测中心 昆明 650000)

摘 要 目前,在无线电监测工作中小型监测站以其成本低、体积小、便于维护等众多优势得到广泛应用,已逐渐成为行业趋势。但是,众多小型监测站目前仅具备监测功能,不具备测向功能,给未知信号源的定位带来诸多不便,因此基于 TDOA(Time Difference Of Arrival)定位方法的研究便显得尤为重要。主要讨论了基于未知信号源到不同监测站的时间差、计算未知信号源位置的方法,并用 C 语言实现。

关键词 TDOA,双曲线,经纬度,时差定位

Discussion about Algorithm of Calculating Source Location Based on TDOA

TANG Hao WU Ji-da LU Dong-sheng

(Yunnan Radio Detection Center, Kunming 650000, China)

Abstract At present, small and medium size radio monitoring stations with their low cost, small volume, convenient in maintenance etc advantages are widely applied, have gradually become the industry trend. However, numerous small stations currently only have monitoring function, doesn't have the direction-finding function, and bring a lot of inconvenience to the unknown source orientation. So it is particularly important to research method of locating based on TDOA (Time Difference of Arrival). This paper discussed the method of calculating unknown source to defined position, based on temporal difference between unknown source and the different stations. Finally, it was implemented with C language.

Keywords TDOA, Hyperbolic, Longitude and latitude, Time position

TDOA(Time Difference Of Arrival)是通过测量无线电信号到达不同监测地点的天线单元时间差,来对发射无线电信号的发射源进行定位的技术。根据平面解析几何原理,我们知道与平面上两个定点的距离之差的绝对值为定值的点的轨迹是双曲线。在实际中,无线电波在空中以光速在空中传播,当有两个监测站搜到未知无线电信号时(若发射源不在两监测站的中心线上)则信号源一定在以两个监测站为交点的双曲线上,当有 3 个或以上的监测站都能收到该信号时,平面中的双曲线就会有交点,则未知信号源一定在其中的一个交点上。如果我们能找出该交点,并输出该点的经纬度信息,那么就可以确定未知信号源的实际位置。

假设在每个小站都能接收 GPS 时钟,那么每个监测站的时钟将是同步的,再通过每个监测站对每一时段监测到的时域数据打上时间戳,并将多个打好时间戳的数据返回一台服务器,那么就可以通过相关运算核对波形后找到时间差。用时间差乘以其环境中实际的光速则得到了未知信号源到达两个监测站的距离差。目前由于各个厂商对各自设备的底层数据及接口大多都不开放,无法得到统一的数据结构并进行相关运算的程序开发,因此,本文假设了以下条件进行讨论:

1) 假设有 3 个监测站能收到未知信号源的无线信号;

2) 假设已通过相关算法得到了较为准确时间差,此时可以计算出未知信号源到达各个监测站的距离差;

3) 假设地球是正球体;

4) 假设未知信号源为全向发射。

如图 1 所示,当确定到达每两个监测站的距离差后就可以画出一对双曲线,同理可以画出 3 对双曲线,由于三对双曲线中任意两对都有共同的焦点,因此在平面内必有交点。

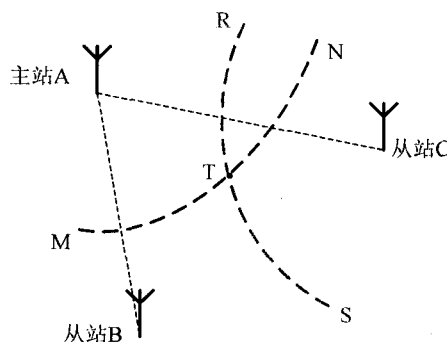


图 1

1 关键问题分析

1.1 计算地球上任意两点间的距离

在直角坐标系中建立方程组并求解,不难求出若干条双曲线的交点,若采用此方法,实际应用中就会遇到经纬度信息与直角坐标的变换,而且整体过程对单位的控制不好把握,相

对繁琐。

考虑到地球为近似球体,如果直接采用经纬度信息作为方程变量,则输出交点也为经纬度信息,也便于C语言实现,因此使用球坐标系建模计算比较可行。

地球是一个近乎标准的椭球体,其赤道半径为6,378.140km,极半径为6,356.755km,平均半径6,371.004km。如果假设地球是一个完美的球体,那么其半径就是地球的平均半径,记为R,如图2所示。如果以0度经线为基准,那么根据地球表面任意两点的经纬度就可以计算出这两点间的地表距离(这里忽略地球表面地形对计算带来的误差,对于方圆几十公里范围内的监测站使用,正球体计算带来的误差极小)。

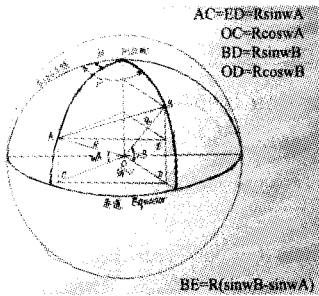


图2

设第一点A的经纬度为(LonA, LatA),第二点B的经纬度为(LonB, LatB),按照0度经线的基准,东经取经度的正值(Longitude),西经取经度负值(-Longitude),北纬取90-纬度值(90-Latitude),南纬取90+纬度值(90+Latitude),则经过上述处理后的两点被计为(MLonA, MLatA)和(MLonB, MLatB)。那么根据三角推导,可以得到计算两点距离的如下公式:

$$S = \sin(\text{MLatA}) \times \sin(\text{MLatA}) \times \cos(\text{MLonA} - \text{MLonB}) + \cos(\text{MLatA}) \times \cos(\text{MLatB}) \quad (1)$$

$$\text{Distance} = (R \times \arccos(S) \times \pi) / 180 \quad (2)$$

注:S的单位为度,Distance的单位为米,下文中A、B两点的Distance简写为 D_{A-B} 。

1.2 求双曲线焦点

双曲线,即与平面上两个定点距离之差的绝对值为定值的点的轨迹。对未知信号源的定位至少需要3个监测站,如果仅考虑3个站的情况,以任意两个监测站为交点可以画出1对双曲线,此时共有3对双曲线。当3对双曲线中的任意3条相交时就是未知信号源可能存在的点。由于6取3的组合有20种可能,且任意1对双曲线不可能与剩余4条中的1条共交一个点,因此3对双曲线中3条相交于同一点的最大可能为 $20 - 4 \times 3 = 8$ 个,因此在程序中需要8个数组存放可能存在的8组相互近似的交点。

利用程序解方程组时通常是设定一个极小值a,将方程化为 $F(x, y) = 0$ 的形式,用点 (x_1, y_1) 不停地递增或递减一个步进值step,当代入该点的两个式子之差的绝对值小于极小值a时,便认为存在交点 (x_1, y_1) ,将其都存放于一个结果数组。

$$|F_1(x_1, y_1) - F_2(x_1, y_1) - \text{Distance}| \leq a \quad (3)$$

由于在程序中使用经纬度做变量进行计算,且以距离

“米”为单位控制计算精度,因此在程序中需要有用经纬度来表示距离的对应关系。

我们知道在地球赤道附近经度每差1度,实际距离相隔约111km,即 $n=111\,000$,当使用 error/n 表示步长step时,能使精度随纬度升高而提高。当在每次计算中取极小值a为“ $\text{error}/n/3.3$ ”时,整个计算的精度将控制在误差error以内,error值由人为定值。

1.3 合并相似点

根据式(3)步进得到的点可能有很多,本文称这些点为相似点,其共有特征是都能使式(3)成立,为此,需要进一步甄别,依前述可知,3个站点至多可能有8个交点,于是应当根据某种算法把8组相互近似的交点区别清楚。

本文根据同组相似点应当相关性较大,反之即为差异性较小,于是令 (X_i, Y_i) 表征结果数组中的元素,i为正整数。依下述公式:

$$\text{Distance}[(X_i, Y_i), (X_{i-1}, Y_{i-1})] \leq 2 \times \text{error} \quad (4)$$

此时,以经纬度两点距离式(1)、式(2)进行计算,当两点间距离小于 $2 \times \text{error}$ 时,可以默认为该点为同一个点的近似值,单位是米。

当 (X_i, Y_i) 中有满足式(4)的点时,将其逐一分组,分别存放在8个数组中,然后根据式(5)对其求均值,以此值作为该组的代表点,最后可得至多8个交点。

$$P(X, Y) = [(\sum x_i) / (\sum i), (\sum Y_i) / (\sum i)] \quad (5)$$

2 算法设计

2.1 计算地球上任意两条双曲线的交点

在程序中如用变量“x”表示纬度,用“y”表示经度,“S”表示距离,则两点的距离差可以表示为(其中 $\pi/180 \approx 1/57.2958$),依式(1)有:

$$S = fabs(R * \arccos(\sin(x_2/57.2958) * \sin(x_1/57.2958) + \cos(x_2/57.2958) * \cos(x_1/57.2958) * \cos((y_2 - y_1)/57.2958)))$$

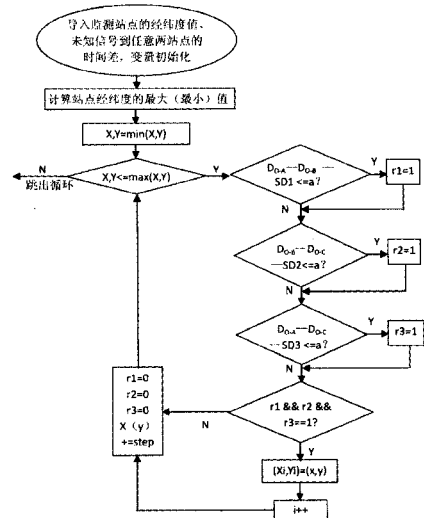


图3

求双曲线交点本文采用穷举法,以step为步进值,遍历

可行域,该域在三站点经纬度的最值之左右上下各拓展 d 的矩形区域,在此域寻找符合判决条件的点,然后将这些点存于结果数组。为保证下次判决有效,每次判决结束后都要对 r 值清零。流程图如图 3 所示。

2.2 合并相似点程序实现

按照式(4)、式(5)进行程序设计,为保证 (X_i, Y_i) 中所有元素都能被分组,需要附加一个 if 语句进行判断,若下一个待判决的元素任然存在,则将其附为下一组的首元素,然后继续执行判别语句,否则,则继续执行分组甄别的 while 循环语句,实际上此时后面的 while 语句都不执行了,而那最后一个元素也被分组了。这样就能防止出现最后一个元素被遗漏的情况。流程图如图 4 所示。

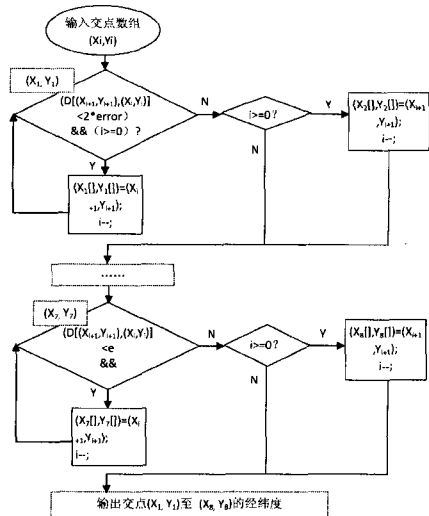


图 4

3 验证仿真结果

选取昆明地区的 3 个固定监测站:

- a) 省监测中心站 (24.9889 102.6570);
- b) 五华山监测站 (25.049358 102.706879);
- c) 机场监测站 (25.012774 102.74032);

设未知信号源位置为 (24.979197 102.714763)。

3 个固定监测站点及“未知信号源”实际位置图 5 所示。

利用 google earth 测距功能测出信号源与监测站的距离分别为:

$s_1=5933\text{m}; s_2=7838\text{m};$
 $s_3=4532\text{m}; s_{1_2}=1905\text{m};$

$s_{1_3}=1401\text{m}; s_{2_3}=3306\text{m};$

将以上变量输入程序,取 error 为 100 米,扫描半径为 20 公里。

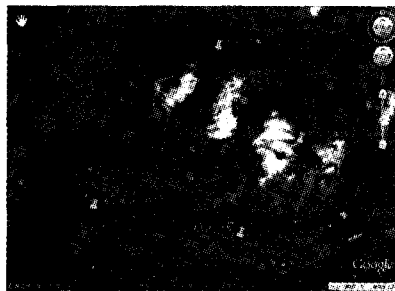


图 5

从输出可知,在方圆约 20 公里的范围内,共存在两个三线相交点,分别为:

计算信号源位置 1 (24.979363 102.714758);

计算信号源位置 2 (25.033645 102.677175)。

结束语 本文叙述了一种 TDOA 定位算法,算法以可穷举方式侦测可行域内的点,巧妙地避开了经纬度坐标与直角坐标系的映射问题,转而使用经纬度坐标系下的两点间的距离,便于整体算法在数据单位上的统一。经验证可以看出,该算法的误差范围是极小的,准确率较高,由于采用了 C 语言编写,具有较强的移植性。

但是该算法同样存在许多不足:

首先,条件是在理想的环境下进行考虑的,在其中忽略了地球的椭球特性,给计算带来了误差(虽然在小范围计算时误差极小),当 3 个监测站能提供精确的时间差或对未知信号源的位置精度有很高要求时,后期可能需要考虑使用椭球坐标进行建模分析;

其次,本算法采用的在给定范围内的穷举算法,效率不高,当手动输入的精度较高或扫描的面积较大时程序运行时间较长,后期将利用二分法或更优的方法来优化。

参考文献

- [1] 李景春. TDOA 基本原理及应用
- [2] 谭浩强. C 语言程序设计(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社
- [3] 张毅坤,曹猛,张亚玲,等. C 语言程序设计教程[M]. 西安:西安交通大学
- [4] 朱庆厚. 到达时间差(TDOA)侧向定位研究[J]. 电现技术, 2007, 47(1)
- [5] 价模型[J]. 计算机工程与应用, 2006(6): 24-26
- [6] 秦莉涛. 高校教学工作水平评估的人工神经网络模型[J]. 计算机系统应用, 2004(10): 34-37
- [7] 高芳,王明秀,崔刚. 基于神经网络的高校财务评价[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(6): 854-857
- [8] 李国辉. 基于 BP 神经网络的“教学做一体”课程的评价[J]. 天津职业大学学报, 2011(3): 19-23
- [9] 冯楠,李敏强,寇纪淞,等. 基于人工神经网络的 IT 项目风险评

(上接第 466 页)

- [6] 曾华,王恒山. 基于 Hopfield 信息技术外包服务商评价模型[J]. 计算机技术, 2006(9): 15-18
- [7] 李国辉. 基于 BP 神经网络的“教学做一体”课程的评价[J]. 天津职业大学学报, 2011(3): 19-23
- [8] 冯楠,李敏强,寇纪淞,等. 基于人工神经网络的 IT 项目风险评