

被动声传感器网络中的一种去除 虚假定位点的新方法

冯 杰, 张学磊, 李兆利

(中国电子科技集团公司第三研究所, 北京 100015)

摘要: 被动声传感器网络中多目标跟踪经常会出现错误关联(虚假定位点)。为了去除该定位点, 提出了一种基于广义三角定位去除问题的新方法。利用灰色关联理论对声探测阵接收到的不同目标的乱序角度信息进行重新排序, 获得正确的角度次序。通过基于角度关联预处理算法的时段匹配三角定位法获取不同目标最可能的位置。然后利用本文提出的假设和第三站验证方法对虚假定位点进行剔除。仿真数据和实际试验数据验证了所提出方法的有效性。

关键词: 虚假定位点; 灰色理论; 三角定位; 第三站验证

中图分类号: TP3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2013)-04-0327-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2013.04.014

A new algorithm for deghosting in passive acoustic sensor network

FENG Jie, ZHANG Xue-lei, LI Zhao-li

(The No.3 Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Beijing 100015, China)

Abstract: This paper addresses the false association (called ghosts) problem of multi-target tracking in a distributed passive acoustic sensor network. To eliminate these ghosts, a new deghosting scheme based on the generalized triangulation has been proposed. First, the received angle information of different targets is reordered by using the gray theory to obtain the correct sequence. Successively, time span match triangulation based on pretreatment algorithm of angle association is used to get the most-likely positions of different targets. Finally, the residual ghosts are cancelled by using a reasonable hypothesis and third site notarization. The validity of the proposed scheme is evaluated by both simulation and experimental results.

Key words: ghost; gray theory; triangulation; verification by third site

0 引言

声学传感器在不产生任何辐射的情况下通过接收目标辐射噪声, 并进行相关处理完成对目标方位和俯仰角信息的获取, 但是目标的距离信息是无法直接获得, 为了对目标进行定位, 必须采用额外手段。常用的方法有两种, 第一种是目标运动分析, 该方法需要将传感器放置于一个可移动的平台, 通过平台的移动实现对目标进行定位^[1,2]; 第二种方法是利用不同传感器(阵)获取的目标角度信息进行三角定位以获取目标的位置^[3-12]。此法需要至少两个传感器(阵)协同工作, 但是对传感器(阵)是固定的还是移动的没有要求。在多目标跟踪场景中, 通过

三角定位获取目标的正确位置是一种很有挑战性的工作。错误关联(虚假定位点问题)是由于不同传感器(阵)的关联而产生的除正确目标位置之外的交叉点。从所有的交叉点去除这些非目标位置交叉的技巧称为去除虚假定位点方法。已经有众多的研究者对去除虚假定位点的方法进行了研究^[3-12]。一种方法是“铰链角”法^[4], 这种方法要求三角定位的两个传感器(阵)的“铰链角”一致, 但对一个传感器或常用的平面阵而言, 俯仰角的精度一般较差, 这种方法有难以克服的障碍; 其他方法, 如自组织映射^[6], 基于技巧的关联法^[8]、整数规划法^[9]、拉格朗日松弛法^[10], 各种方法均有其不足之处^[11]。因此, 如何有效去除虚假定位点则成为低空被动声传感器网络系统走向实际应用中面临的一个关键问题。本文针对这一问题, 提出一种去除虚假定位点的新方法, 并加以实验验证。

收稿日期: 2012-05-05; 修回日期: 2012-08-27

作者简介: 冯杰(1973-), 男, 河南人, 博士, 高工, 研究方向为空气声探测及信号处理。

通讯作者: 张学磊, E-mail: zhangxuelei2008@gmail.com

1 三角定位及虚假定位点问题

1.1 三角定位

在单目标场景中，假定探测系统的两个探测基阵的位置分别位于 $(x_i, y_i), i=1, 2$ ，目标的位置为 (x, y) 。每个探测基阵只能获得目标的角度信息 α_i (如图 1 所示)， α_i 的形式如下：

$$\alpha_i = \beta_i + n_i \tag{1}$$

其中： n_i 是测量误差， $\tan \beta_i = (x_i - x) / (y_i - y)$ 。

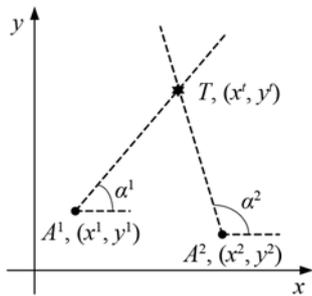


图 1 三角定位原理
Fig.1 Principle of triangulation

利用方程(1)可以获得目标的位置信息：

$$\begin{cases} x = \frac{x_1 \tan \alpha_1 - x_2 \tan \alpha_2 + y_2 - y_1}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \\ y = \frac{y_2 \tan \alpha_1 - y_1 \tan \alpha_2 + (x_1 - x_2) \tan \alpha_1 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \end{cases} \tag{2}$$

1.2 虚假定位点问题

在 1.1 节中用单目标场景给出了三角定位，如图 1 所示。在多目标多探测站场景中，就会出现虚假定位点问题，如图 2 所示。并假设探测基阵有测量误差，其中六角星为三个目标的真实位置，圆点为三个探测站的位置，而实心方块为由三角定位获得的真实目标的位置(在无噪声的情况下，相应的实心方块会重合)。三角形即为虚假定位点(不同探测基阵的角度错误关联而成)，虚假定位点的数量大大超过了由三角定位获得的目标位置点的数量，而且随着探测基阵和目标数目的增加，虚假定位点的数量将会以惊人的速度增加。若不进行虚假定位点的去除，就会使得多目标跟踪变成了一个不可能完成的任务，因此去除虚假定位点是多目标跟踪中一个至关重要的问题。

2 去除鬼点的方法

在图 3 中给出了去除虚假定位点方法的流程图，从左至右分别为：(a) 利用灰色关联理论^[13]重

整乱序的角度信息；(b) 利用时间段匹配三角定位法获得目标最大可能的位置；(c) 利用假设和第三站验证的方法去除虚假定位点。

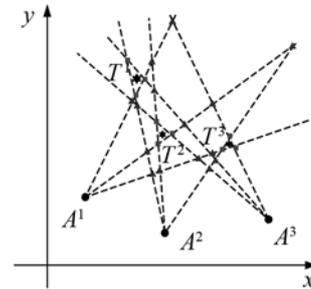


图 2 虚假定位点问题
Fig.2 The ghost problem

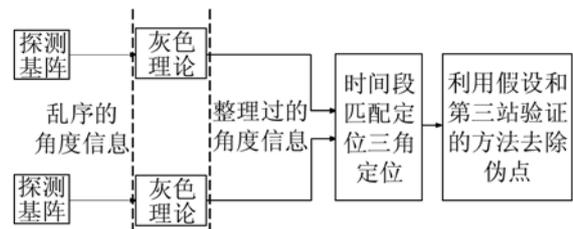


图 3 去除虚假定位点方法的流程图
Fig.3 Schematic diagram of the proposed method

2.1 乱序角度重整

在被动声传感器网络中，探测传感器/基阵每时每刻都在探测目标，每个时刻探测到的目标数目就会有不同，同一个探测基阵对同一个目标的探测信息就会因为目标数目的减少而次序错乱，为获得有序的角度信息序列，必须对其进行重新整理。本文采用灰色关联理论^[13]进行角度重整。灰色系统理论由中国邓聚龙教授于 1982 年创立。该理论以“部分信息已知，部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象，主要通过对“部分”已知信息的生成、开发，提取有价值的信息，实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。灰色系统模型对实验观测数据没有什么特殊的要求和限制，同时计算量也不大，较适合本文的研究。

按照灰色理论，对数列 $X=(x(1), x(2), \dots, x(n))$ 进行灰预测，GM(1,1) 是较为常用的预测模型，根据实际情况预测模型滚动检验，确定模型是否可信，若模型可信，即将获得的预测角度值与当前周期的角度值进行比较，从而获得该角度序列在本周期的角度值，若模型不可信，此时需要采用其他 GM 模型来对当前角度序列进行处理，也可考虑采用其他灰色模型。

2.2 时间段匹配三角定位法

对于地基的低空声监视系统，飞行目标(如飞机、导弹)的速度往往与声信号传播的速度相差不是

太远。当目标辐射的噪声信息被地基的声监视系统的某个声探测基阵接收到时，目标往往已经偏离了当时的辐射位置，这就是信号时延效应^[12]。

信号延迟效应使目标的声定位更加困难，这使得声监视系统在解决通常多传感器网所要解决的问题之前，首先要解决测量值关联，分清各声探测基阵的数据是否来自于同一目标，并把属于同一目标的多个声探测基阵的数据组合起来，本文采用时间段匹配三角定位来实现目标的定位，图 4 中给出了时间段匹配三角定位法的流程图。

- (1) 选取某一个声探测基阵作为主关联节点，选取另外一个声探测基阵作为从关联节点，并分别从主关联节点和从关联节点中选取一段角度序列；
- (2) 将选取的主、从角度序列中的每一个角度进行关联张角及候选观测集处理；
- (3) 将选取的主、从角度序列中的每一个角度进行关联张角及有效集处理；
- (4) 将选取的主、从角度序列中的每一个角度进行三角定位获取目标的可能位置。

流程中关联张角及候选观测集处理、关联张角及有效集处理^[15]是时间段匹配三角定位法的核心，其示意如图 5(a)和图 5(b)所示。由图 5(a)可以看出，只有落在重叠区域(阴影部分)的目标才能同时被声探测基阵 S_i 和 S_k 探测到，对此目标的角度数据进行关联才有意义；当重叠区域中目标较多时，计算量很大。为了在不降低关联正确度的情况下进一步减

少关联计算量，将采用关联张角及有效集处理，可关联区域将进一步缩小，如图 5(b)中的阴影区域所示，只有在此区域的目标方可被声探测基阵 S_i 和 S_k 探测到。在实际应用中，可将各个探测单元关联张角及有效集事先求出，而后查表即可，从而节省计算量。

2.3 利用假设和第三站验证的方法去除残余虚假定位点

在利用 2.1 节与 2.2 节中的方法后，获得的目标最大可能位置中仍然包含一些虚假定位点，尚需对其进一步处理，考虑到目标声传播的特性，对于目标真实位置和虚假定位点来说，有以下假设：

- (1) 对于同一个目标的不同声探测基阵的数据，目标的真实位置点对应的时刻总是比虚假定位点在监视系统中出现的时刻早一些；
- (2) 真实目标位置点相较虚假定位点，按照一定关联准则能够关联的目标轨迹的存在时间比虚假定位点能关联的航迹存在时间长一些；
- (3) 对于真实目标位置点与虚假定位点来说，它们均不能与已经存在的目标航迹冲突。

通过假设检验的目标可能位置点，其中仍然可能包含虚假定位点，在具备第三个声探测基阵的情况下，将进行第三站验证，即求出当前目标可能位置点与第三个声探测基阵的角度测量值，按照信号传播时延，从而得到该测量在第三个声探测基阵测量集中的分布范围，将其分布范围与第三个声探测基阵的获得的角度序列进行比对即可进行第三站验证。

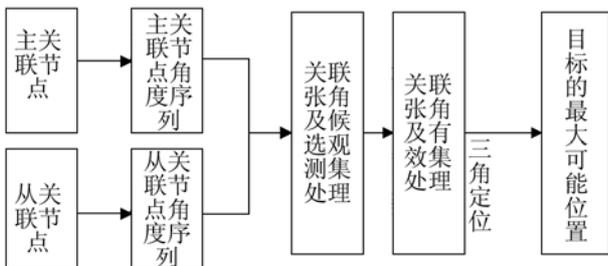


图 4 时间段匹配三角定位法流程图
Fig.4 The flow chart of TSMT

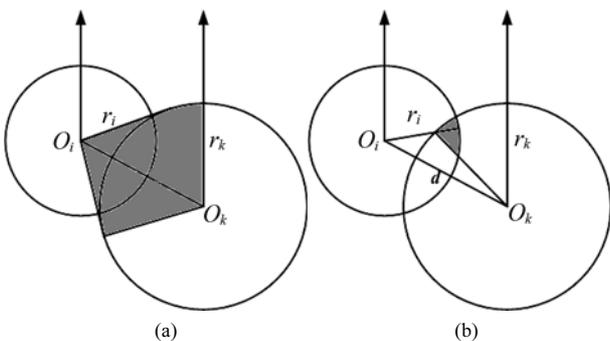


图 5 关联张角及候选观测集、有效集处理
Fig.5 Candidate set treatment and effective set treatment

3 仿真分析及实验结果

3.1 仿真分析

考虑两种场景下的目标运动情况，并分别对其使用本文的算法进行去除虚假定位点。在图 6、8 中给出了两种仿真环境的配置图。1 号站、2 号站及 3 号站的 $x-y$ 平面坐标分别为(1.5km, 12.7km)、(8.2km, 12.8km)、(4.8km, 9.5km)。两个目标速度均为 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，由北至南平行飞行，两目标之间距离为 3.8km，图中的黑色十字为基阵位置，图 6(b)和(c)中，角度正北定义为 0° ，按照逆时针方向，角度值增加。

图 6 为两个基阵两个目标的场景，图 6(a)浅灰色点迹为目标真实位置点，黑色点迹为由本文方法获得的目标位置点，图 6(d)浅灰色点迹为虚假定位点，黑色点迹为由本文方法获得的目标位置点，从公式(2)可以看出，在两个基阵的连线上的定位结果

较差,从图 6(d)中也可以得出这种结论。在图 6(b)、6(c)中分别给出了基阵 1、2 的角度重整之后的角度序列。

图 7 为三个基阵两个目标的场景,图 7(a)浅灰色点迹为目标真实位置点,黑色点迹为由本文方法获得的目标位置点,图 7(b)浅灰色点迹为虚假定位点,黑色点迹为由本文方法获得的目标位置点。由于有第三个基阵的补充,目标的定位结果较两个基阵的定位结果更为精确,同时连续性也较好,但由于基阵数目的增加,虚假定位点的数量也大大增加,增加了很大的计算量。在表 1 给出了这两种场景的计算量和虚假定位点数量以及真正目标点数量,从表中可以看出,增加了一个基阵,总的计算量就增加到了接近原先的 3 倍。基阵 1、2 的角度重整之后的角度序列在图 6(b)、6(c)中已经分别给出了,在此只给出基阵 3 角度重整之后的角度序列。

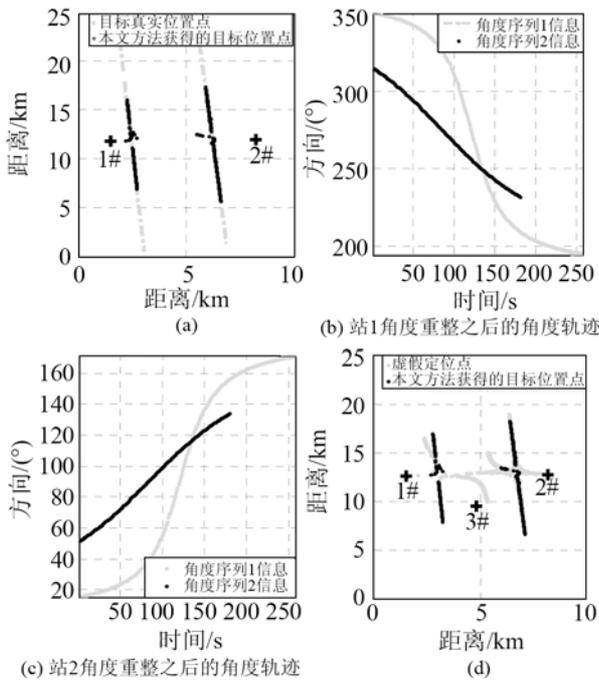


图 6 两站两目标配置图
Fig.6 The two-array two-target scenario

表 1 虚假定位点与本文定位结果数量
Table 1 The computation of two scenarios

场景描述	总共定位点数量	虚假定位点数量	本文定位结果数量	真正目标点个数
两站两目标	2010	1635	375	371
三站两目标	5350	4632	1075	1114

3.2 试验结果

为验证本文方法的可行性,2011 年于一个小城

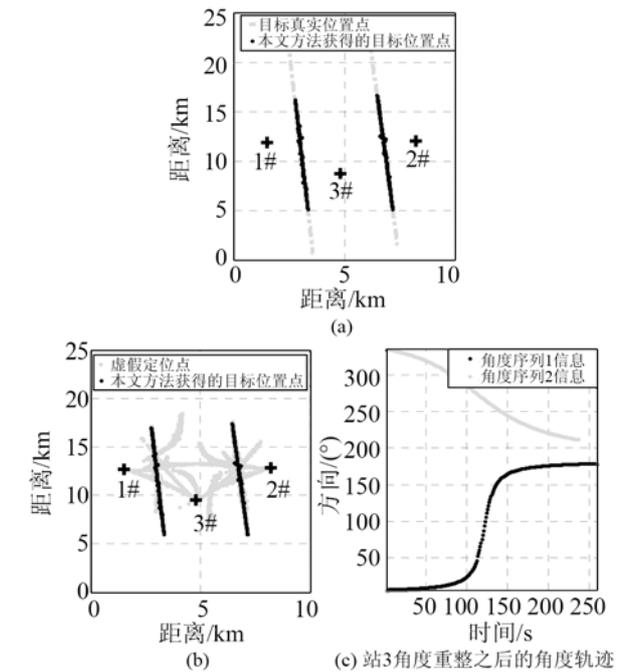


图 7 三站两目标配置图
Fig.7 The three-array two-target scenario

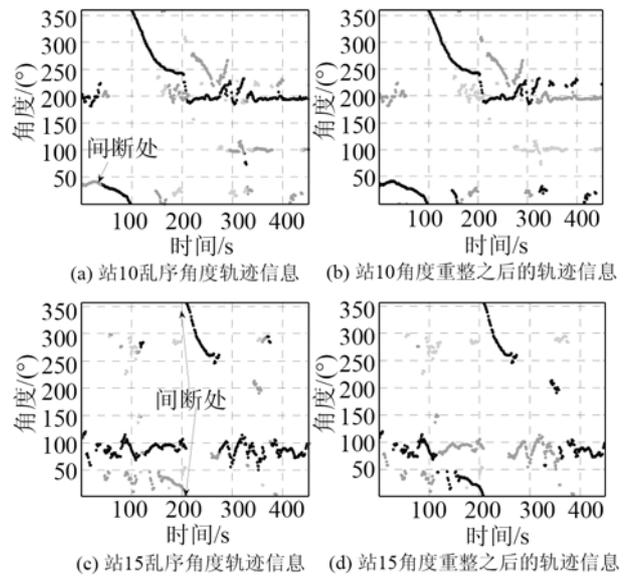


图 8 外场试验结果
Fig.8 The experiment result

镇进行了一次试验, 试验环境既包括嘈杂的城市环境, 也有安静的乡村。在图 8(e)中给出了这次试验的配置图, 在 $20\text{km} \times 25\text{km}$ 的范围内布设了 17 个声探测基阵, 图中黑色十字布设的基阵, 目标的飞行高度在 $300\sim 400\text{m}$ 之间, 飞行速度 $50\sim 65\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 8(a)和 8(c)分别给出了安静环境($48\text{dB}@20\mu\text{Pa}$, 0dB)和闹市环境($65\text{dB}@20\mu\text{Pa}$, 0dB)中声探测单元给出的未经乱序角度重整的原始目标角度航迹图, 同时在图中还给出了目标角度航迹的间断点, 在图 8(b)和图 8(d)给出了经过角度重整之后的角度航迹信息, 图 8(a)、8(b)、8(c)、8(d)中不同颜色表示了不同序列的角度信息, 经过乱序角度重整之后, 同一个目标的角度信息归属到了同一序列上。

图 8(e)中点划线为目标的飞行路线 GPS 记录, 图中的黑色点迹为利用本文方法获得的目标轨迹, 从图中可以看出, 探测到目标的轨迹与真正的 GPS 记录符合得较好, 其定位均方误差小于 400m , 这也就从另外一个方面印证了本文方法的有效性。

4 结论

本文提出了一种用于去除交叉定位中虚假定位点、基于广义三角定位的新算法, 并进行了计算机仿真分析和实际试验的验证。仿真分析和试验结果表明, 该方法具有较好的性能和较强的实用性。在试验过程验证中, 其计算实时性也得到了令人满意的结果, 具有较高的实用价值。

致谢: 中国科学院声学研究所李整林研究员对本文提出了很多修改意见, 电视电声研究所的刘德铸工程师为本文提供了宝贵的数据, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Nardone S C, Aidala V J. Observability criteria for bearings-only target motion analysis[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1981, AES-17(2): 162-166.
- [2] LIN X, Kirubarajan T, Bar-Shalom Y, et al. Comparison of EKF, Pseudomeasurement filter and particle filter for bearings-only target tracking problem[C]// Proc. SPIE Conference of Signal and Data Processing of Small Targets, Orlando, FL, 2001; 4.
- [3] Baltes R, van Keuk G. Tracking multiple manoeuvring targets in a network of passive radars[C]// IEEE International Radar Conference, 1995, 304-309.
- [4] Masayoshi Ito, Shingo Tsujimichi, Yoshio Kosuge. Sensor-to-sensor target association in a network of passive sensors[C]// 23rd Proceedings of International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1997, 3: 1260-1264.
- [5] Opitz Felix, Kouemou Guy. Triangulation and deghosting[C]// IRS International Radar Symposium, 2006, 1-4.
- [6] Hoe Chee Lai, YANG Rong, Gee Wah Ng. Enhanced self-organizing map for passive sonar tracking to improve situation awareness[C]// International Conference on Information Fusion, 2007, 10: 1-7.
- [7] BAI Jing., WANG Guohong. New deghosting method based on generalized triangulation[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(3): 504-511.
- [8] CHEN Y H, LIAN Y T. 2-D multitarget angle tracking algorithm using sensor array[J]. IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, 1995, 142(4): 158-161.
- [9] Williams P R. Multiple target estimation using multiple angle only sensors, Hughes Aircraft, Internal Rep, 1984.
- [10] Pattipati K R, Deb S, Bar-Shalom Y, et al. A new relaxation algorithm and passive sensor data association[J]. IEEE Trans. on Automatic Control, 1992, 37(2): 198-213.
- [11] LIU M, XU N. Multi-sensor multi-target passive locating and tracking[J]. International Journal of Control, Automation, and Systems, 2007, 5(2): 200-207.
- [12] GUO Y, XUE A. A recursive algorithm for bearings-only tracking with signal time delay[J]. Signal Processing, 2008, 88(6): 1539-1552.
- [13] 邓聚龙. 灰理论基础 [M]. 第一版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.2
DENG Julong. Fundamental of gray theory[M]. 1st edition. Wuhan: Huazhong University of Science Technology Press, 2002.2
- [14] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用(第五版)[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 5.
LIU Sifeng. DANG Yaoguo, FANG Zhigeng, et al. The theory and application of gray system[M]. Fifth edition. Beijing: Science Press, 2010, 5.
- [15] 王宏飞. 被动传感器信息融合研究与应用[D]. 南京: 南京理工大学博士论文, 2003.
WANG Hongfei. Research on passive sensors Information Fusion and its application[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and technology, 2003.