

# 测向交叉定位系统的动态航迹起始算法

李 劲

(中国电子科技集团公司第十研究所 成都 610036)

**【摘要】**提出了一种两站测向交叉定位系统多目标跟踪的动态航迹起始算法。该算法根据启发式规则消除一部分虚假定位点,用Hough变换法检测出所有直线航迹,再利用逻辑法起始真实目标的航迹。对存在虚警、漏检和目标数量未知的复杂环境的仿真研究,证明了该算法的有效性。讨论了新算法由两站系统推广到多站系统的方法,避免了多站测量数据关联的NP完全问题。

**关键词** 测向交叉定位; 航迹起始; 多目标跟踪; 数据关联  
中图分类号 TN953 文献标识码 A

## A Dynamic Track Initiation Algorithm for Passive Bearing-Crossing Location Systems

LI Jin

(The 10th Institute of China Electronics Technology Group Corporation Chengdu 610036)

**Abstract** A new dynamic multitarget track initiation algorithm for two direction-finding location systems was presented: a part of false intersection points were first eliminated by some heuristic rules, then all straight tracks were detected by Hough transform, and the true tracks were finally initiated by logic-based methods. Its high efficiency is confirmed by simulations in real complex environment where exist false alarms, missed detections and an unknown number of targets. At the end, the method of extending the presented algorithm from two-observation systems to multi-observation systems was introduced and then the NP-complete problem of associating measurements from multiple passive sensors is avoided.

**Key words** bearing-crossing location; track initiation; multitarget tracking; data association

当采用两个或两个以上的观测站对多目标进行测向交叉定位时,不同的测向线相交将产生大量的虚假定位点——幻影(Ghost)。由于“幻影”假目标的存在,测向交叉定位系统的方位数据关联一直是难以解决的问题。

长期以来,用两个以上的多站定位是解决这一问题的基本思路,即静态法。静态法的核心依据是同一目标的方位数据组合具有最高的空间聚集度。根据不同的空间聚类准则,可导出了各种不同的算法<sup>[1-3]</sup>。静态数据关联在数学上可以归纳为多维指派问题<sup>[4]</sup>,这是一个NP(Non-Polynomial)完全问题,在计算上存在所谓“组合爆炸”的困难,即计算复杂度随着传感器和目标数量的增加呈指数增长。人们已经运用了图论、运筹学和组合数学等工具来求解该问题<sup>[4-9]</sup>。然而,当在测向交叉定位系统中用静态法进行方位数据关联时,除了固有的计算强度大、难以实时进行的困难外,在考虑到实际环境中存在虚警和漏检的情况下,已有算法不是失效就是复杂性增加,其有效性显著降低。

如果已经建立起目标的初始位置信息或航迹,则利用目标运动在时间上具有连续性的先验知识,也可以实现对真实目标和幻影的识别。显然,基于时间的动态数据关联方法比基于空间的静态数据关联方法更具有优越性,可实际用于目标的确认和航迹维持。动态法能否用于测向交叉定位系统的多目标检测和航迹起始的相关研究和报道甚少。但从理论上讲,真实目标的运动特性和“幻影”假目标及杂波(虚警)是不同的,这使得有可能从航迹处理的角度检测出真实目标。如即使是对机动多目标跟踪,目标运动在航迹起始阶段都通常考虑为直线运动模型,它具有直线性、方向性和渐变性(受速度门限制约),而“幻影”假目标和杂波则不可能全部具有这些运动特征,所以可以利用这些特征信息来实现航迹检测和起始。

收稿日期:2004-10-12

作者简介:李劲(1974-),男,硕士,主要从事多源信息融合与管理、航空电子系统综合化技术方面的研究。

假定观测站位置已知并固定,未知数量的目标沿直线航迹进入观测空域,则只能获得目标方位测量数据并存在虚警和漏检。本文研究一种两站系统多目标跟踪的动态航迹起始算法。

## 1 消除虚假定位点的启发式算法

本文提出的启发式算法是一种数据预处理技术,利用启发式规则,在保留真实目标点迹的前提下,尽可能地消除虚假定位点。这种数据预处理技术减轻了后续处理算法的计算负担,并有利于提高真实目标航迹的检测概率。简单地说,在两站测向交叉定位系统中,可以利用启发式规则:(1)交点坐标位于观测空域外的必定是虚假定位点;(2)因为在航迹起始阶段,目标通常位于观测空域远区,所以如果交点坐标过份地逼近观测站,这样的交点通常也是虚假定位点;(3)一条测向线上的可能目标数量不会超过一个。

## 2 Hough变换和直线航迹检测

Hough变换是广泛应用于模式识别和图像处理的一种特征提取技术,适用于在背景噪声和不完全数据中检测直线、圆、椭圆、双曲线、抛物线等。本文仅讨论Hough变换在两站测向交叉定位系统中的应用设计方法。在直线检测中应用最广泛的映射方程是标准Hough变换方程:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

它把数据空间中的每一点 $(x, y)$ 映射到参数空间 $H(\theta, \rho)$ 中的一条正弦曲线上。如果数据空间中若干点是共线的,那么参数空间中这些点对应的正弦曲线将交汇于同一点。

简单的“投票”算法可以用来定位参数空间中的交汇点。为此,需将 $\theta$ - $\rho$ 平面离散分割成若干个小方格,通过检测三维柱状图中的峰值来判断公共的交点。柱状图中每个方格的中心点为:

$$\theta_n = (n - 1/2)\Delta\theta \quad n = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (2)$$

式中  $\Delta\theta = \pi/N_\theta$ ,  $N_\theta$  为参数 $\theta$ 的分割段数。同样,把参数 $\rho$ 分割为 $N_\rho$ 个单元( $\rho_{\max} = r_{\max}$ ),并计算每个 $\theta_n$ 下的 $\rho$ 值。把每个小方格视为一个累加器,计算出的 $\rho$ 值落入其中,则累加器加1。当 $x$ - $y$ 平面上存在若干个可连成直线的点时,这些点的数量则会累加到 $\theta$ - $\rho$ 平面上对应的累加器方格中。如果累加器中的数量超过了预定的门限,那么就检测到了一条直线。

Hough变换中累加器方格的大小和检测门限直接影响到航迹检测的性能。方格尺寸增大,则目标点迹和虚警点迹(把虚假定位点也视为虚警的)“投票”概率也增大;方格尺寸减小,则源自同一目标的点迹又有可能分散“投票”到不同的累加器中,达不到航迹检测的门限。目前尚未见到有关选取累加器方格大小和检测门限的一般标准。因此,本文的方法是:检测门限略低于所采样的扫描批数,以适应目标漏检的情况。在比拟测量、定位精度的前提下,尽量选取较大的累加器方格尺寸,保证以很高的概率检测到所有真实航迹。显然,这样由Hough变换法检测出的结果是比较粗略的,但在保证以很高概率检测出所有真实航迹的前提下,虚假定位点数量将大大减小。Hough变换法的另一个好处是其计算复杂度几乎仅与待处理的交点的数量成正比。

## 3 航迹起始的逻辑法

Hough变换法只能对直线航迹的存在性进行检测,却无法检测到按时间序列的目标点迹的方向性和渐变性,所以用逻辑法<sup>[10]</sup>进一步处理Hough变换法的检测结果。考虑到测向交叉定位系统中虚假定位点分布的复杂性和同时存在虚警和漏检的情况,采用基于4/5逻辑的航迹起始的滑窗法。即在连续5次扫描过程中,成功关联的点迹达到或超过4个时,航迹起始成功。

## 4 仿真实验

设测向交叉定位系统由两个测向接收站组成,对5个匀速直线运动的目标进行跟踪。站1和站2在直角坐标系的站址分别为 $(-20 \text{ km}, 0)$ 和 $(20 \text{ km}, 0)$ ,两个接收站参数一致,扫描周期 $T = 5 \text{ s}$ ,测角精度 $\sigma = 0.2^\circ$ ,检测概率 $P_D = 0.95$ ,最大探测距离 $r_{\max} = 80 \text{ km}$ 。目标1~5的初始位置分别为 $(-45 \text{ km}, 40 \text{ km})$ 、 $(-35 \text{ km}, 55 \text{ km})$ 、 $(0 \text{ km}, 70 \text{ km})$ 、 $(15 \text{ km}, 60 \text{ km})$ 、 $(35 \text{ km}, 50 \text{ km})$ ,速度分别为 $(500 \text{ m/s}, 0)$ 、 $(300 \text{ m/s}, 0)$ 、 $(0, -400 \text{ m/s})$ 、 $(0, -350 \text{ m/s})$ 、 $(0, -300 \text{ m/s})$ ,目标运动的最小速度为 $v_{\min} = 100 \text{ m/s}$ 、最大速度为 $v_{\max} = 700 \text{ m/s}$ 。

每个扫描周期的杂波数量服从泊松分布,取参数 $\lambda=2$ ,杂波按均匀分布随机地分布在系统监视空域内。

按上述仿真条件,系统在某次连续5个扫描周期内产生的真实目标、“幻影”目标和杂波的点迹分布如图1所示(忽略显示范围外的点迹)。对图1的点迹,经启发式算法处理得到的点迹分布如图2所示,再经Hough变换法起始的航迹分布如图3所示,由逻辑法起始的航迹分布如图4所示,图3、图4均以离散点迹的形式示出。比较图1~4可以看出,本文算法对杂波和虚假定位点的滤除是相当有效的,5个真实目标的点迹始终被保留,最终被识别并检测出其航迹。另一方面也可以看到,任何单一的方法在这样复杂环境下要进行多目标识别或航迹起始都是不可想象的。

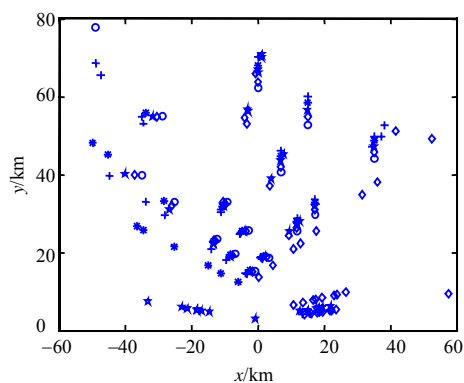


图1 5次扫描获得的原始点迹图

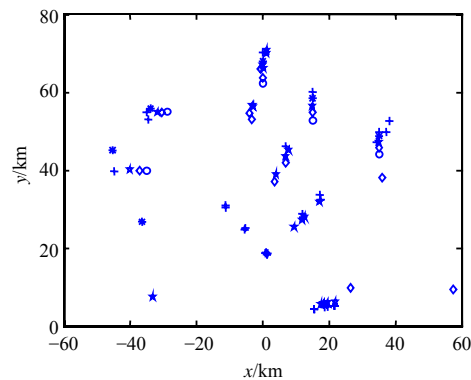


图2 启发式算法获得的点迹图

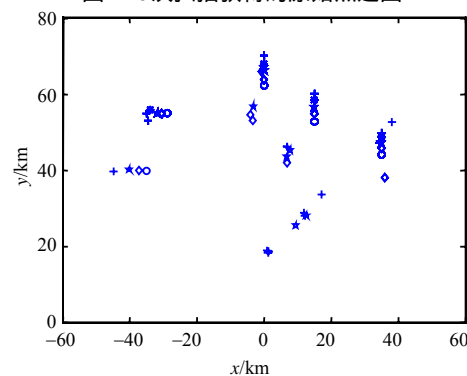


图3 Hough变换法起始的点迹图

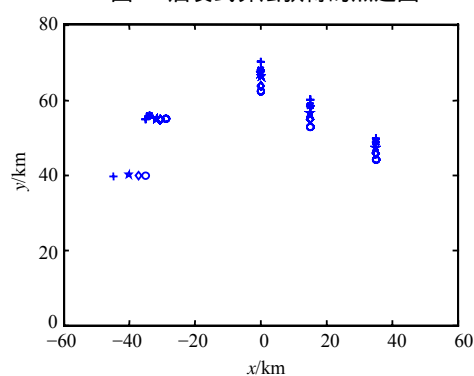


图4 逻辑法起始的航迹图

## 5 多站定位系统的多目标跟踪

采用两个以上的观测站进行测向交叉定位,不仅是有效提高定位和跟踪精度的重要手段,也是实施静态测量数据关联的前提。但对于如何求解NP难题的多维指派问题,到目前为止还没有找到一个相对完善的解决方法。两两交叉定位是多站系统定位的基础,本文的动态航迹起始算法是基于两站系统而提出来的,具有直接推广到多站系统的自然属性。

(1) 对于 $n-3$ 站系统,任意两站的航迹起始结果都可以由其余观测站的测量数据加以确认,只有那些满足特定空间聚集度的点迹才可能是真实目标点迹。在此基础上进行点迹或航迹融合,可以获得更高精度的点迹或航迹估计;(2) 对于 $n-3$ 站系统,在公共的坐标系统中,真实目标的位置具有不变性,而虚假定位点的位置却随观测站的站址的不同而不同。把任意两站的航迹起始结果看成是对目标航迹的一次检测,则总共有 $C_n^2$ 次检测结果。按一定的航迹融合准则,也可以获得多站系统的航迹确认和估计;(3) 航迹起始成功后,后续的数据关联就转化为点迹-航迹相关。这一般是基于波门外推技术,不论是两站还是两站以上系统,测量数据关联的复杂度均大大降低。

一般地,对于 $n-3$ 个观测站, $m$ 个目标的实例,用穷举法求其最优解是NP难题,需遍历 $m^n$ 个关联假设。而本文将问题分解成 $C_n^2$ 个子问题,最大可行解规模为 $O(m^2n^2)$ ,因此算法是多项式计算时间。

(下转第912页)

0.1、0.3、0.5 pF时,若等效特性阻抗 $Z_0'$ 保持在50  $\Omega$ ,则物理特性阻抗 $Z_0$ 分别为50.93  $\Omega$ ( $w/h=2.746$ )、52.83  $\Omega$ ( $w/h=2.596$ )、54.80  $\Omega$ ( $w/h=2.452$ )。

### 3 结 论

等效分布电容补偿法是一种近似的集中参数法,适用于取样门负载电容值较小且均匀分布、脉冲传输线总长度不是很长的情况。数值计算结果表明,不论采用何种匹配计算方法,改变终端负载电阻值或传输线特性阻抗值,所达到的效果是一致的,即快脉冲沿微带线传输达到阻抗匹配,因此取样电容上存储的样品波形失真度很小。

#### 参 考 文 献

- [1] 郭大浩,王声波,洪昕,等.高功率激光的时间、空间和频率特性的测量[J].强激光与粒子束,1997,9(3):433-436.
- [2] Siu C T, Wah P N, Hock C C. A novel technique for measuring the pulsewidth of nanosecond laser pulses[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1998, 47(4): 997-1000.
- [3] McEwan T E, Kilkenny J D, Dallum G. World's fastest solid-state digitizer[J]. Energy and Technology Review, 1994, 94(4): 1-6.
- [4] Paulter N G. An assessment on the accuracy of time-domain reflectometry for measuring the characteristic impedance of transmission lines[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2001, 50(5): 1381-1388.
- [5] 何小艇. 高速脉冲技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1990.
- [6] Reinhold L, Pavel B. RF circuit design: theory and application[M]. New York: Prentice-Hall, 2000.

编辑 刘文珍

(上接第896页)

### 6 结 论

传统的测向交叉定位系统的静态数据关联为NP完全问题,至少需要两个以上的观测站。本文从航迹处理的角度提出了直接检测目标初始航迹的两站系统的动态数据关联算法。仿真实验表明,新的动态关联算法能有效适用于存在虚警、漏检和目标数量未知的实际复杂环境。两站算法还可以自然推广到多站系统中,从而避免了多站测量数据关联的NP完全问题。但基于直线航迹的特点提出的算法并不适用于非直线航迹处理,这在一定程度上限制了算法的应用范围。

#### 参 考 文 献

- [1] 冯子亮,游志胜,王明辉,等.基于空间交点强度的被动式多传感器数据关联[J].控制与决策,2001,16(5):561-564.
- [2] 修建娟,何友,王国宏,等.被动定位系统中的方位数据关联[J].系统工程与电子技术,2003,25(3):280-283.
- [3] 冯富强,尹成友,陈鹏举.一种消除虚假定位目标的方法[J].现代雷达,2002,24(5):45-46.
- [4] Pattipati K R, Deb S, Bar-Shalom Y, et al. A new relaxation algorithm and passive sensor data association[J]. IEEE Trans., 1992, AC-2(37): 198-213.
- [5] Deb S, Yeddanapudi M, Pattipati K R, et al. A generalized S-D assignment algorithm for multisensor-multitarget state estimation[J]. IEEE Trans., 1997, AES-2(33): 523-536.
- [6] 叶西宁,潘泉,康伟,等.被动式多传感器数据关联的消元算法[J].西北工业大学学报,2003,21(3):310-312.
- [7] 叶西宁,潘泉,程咏梅,等.多维分配的剪枝法及其在无源探测跟踪中的应用[J].电子学报,2003,31(6):847-850.
- [8] Robert L P, Pattipati K R, Bar-Shalom Y. M-best S-D assignment algorithm with application to multitarget tracking[J]. IEEE Trans., 2001, AES-37(1): 22-37.
- [9] 罗朗.高分辨阵列测向中信号相关性问题的研究[J].实验科学与技术,2006,4(2):10-12.
- [10] 董志荣.论航迹起始方法[J].情报指挥控制系统与仿真技术,1999(2):1-7.

编辑 漆蓉