

基于 Hough 变换的航迹起始算法

王 峰

(西安电子工程研究所, 陕西 西安 710100)

摘要:航迹起始是航迹处理中的首要问题。通过对目标航迹起始的 Hough 变换方法的研究,总结了目标航迹起始的经典 Hough 变换算法。针对该算法运算量大不满足实际应用的不足,提出了一种新的基于 3/4 逻辑的改进 Hough 变换航迹起始算法。该算法以 3/4 逻辑为起始航迹的依据,采用改进的 Hough 变换法判断一次点迹是否共线,有效的解决了在密集杂波环境中目标航迹的快速起始问题。该算法加入速度选通排除了部分杂波,降低了运算量,为该算法应用于工程实践创造了条件。

关键词:航迹起始;速度选通;霍夫变换

中图分类号:TN401

文献标识码:A

文章编号:1001-9146(2008)06-0087-04

0 引 言

航迹起始是航迹处理中的首要问题,在各种航迹处理的情况下都存在,对于多目标航迹处理来说,航迹起始是第一步,是进行航迹跟踪的基础,近年来随着复杂新技术的出现,战争环境越来越复杂,在多目标航迹管理领域也出现了很多研究成果,但是针对航迹起始方面的研究成果很少。由于被探测目标一般都是由远到近的出现在搜索雷达的有效探测范围内的,在航迹起始时,目标一般距离雷达较远,此时雷达分辨率低、测量精度差,加之真假目标的出现无真正的统计规律,因此在搜索雷达数据处理技术中,航迹起始问题是一个难题。现有的航迹起始算法可分为顺序处理技术和批处理技术两大类^[1]。通常,顺序数据处理技术适用于弱杂波环境中的航迹起始,主要包括启发式规则方法和基于逻辑方法;批处理技术则更适用于强杂波环境,主要包括 Hough 变换等方法。文献 2 对上面的这些航迹起始方法进行了比较,结果表明基于逻辑的方法在虚警概率比较低的情况下,起始航迹的效果比较好,但在复杂环境下虚假航迹比较多;Hough 变换法则适用于强杂波背景下航迹成直线的环境,但是 Hough 变换法通常需要多次的扫描才能较好地起始航迹,且计算量大不符合工程应用的需要。为了能减少在密集杂波环境下逻辑法起始的虚假航迹数量,同时满足实际应用的需要,本文提出一种新的航迹起始算法,该算法结合了逻辑法和 Hough 变换法的优点。

1 Hough 变换简介

1.1 Hough 变换基本原理

将极坐标引入 Hough 变换,得到其变换函数形式如^[3]:

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

Hough 变换法是通过变换函数将数据空间笛卡儿坐标系中的观测数据 (x, y) 变换到参数空间中的坐标 (ρ, θ) ,其中 $\theta \in [0, \pi]$ 。对于一条直线上的点 (x_i, y_i) ,必有两个唯一的参数 ρ_0 和 θ_0 满足:

收稿日期:2008-08-31

作者简介:王峰(1982-),男,河南偃师人,在读研究生,数据处理。

$$\rho_0 = x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 \quad (2)$$

如图 1 所示,数据空间中的一条直线可以通过从原点到这条直线的距离 ρ_0 和 ρ_0 与 x 轴的夹角 θ_0 来定义。

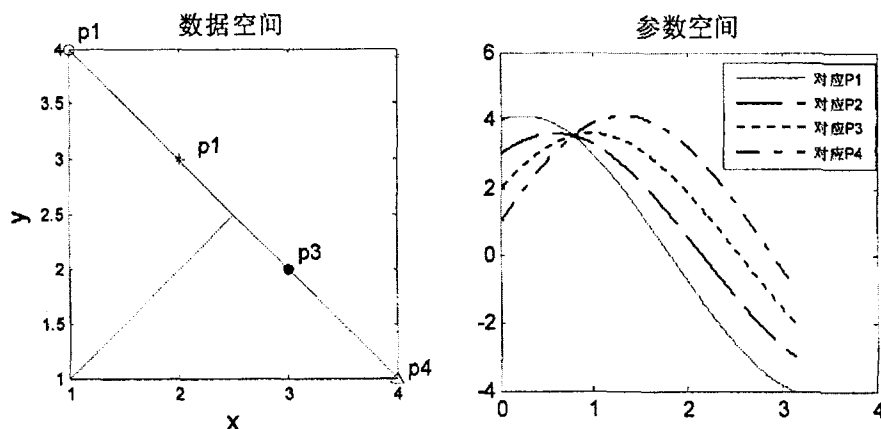


图 1 Hough 变换映射图

将图 1 数据空间中同一直线上的 4 个点通过式 1 转换成参数空间的曲线,如图 1 参数空间所示。从图 1 参数空间中,可以明显地看出图 1 数据空间中同一直线上的几个点转换到参数空间中的曲线交于一公共点。这也就说明了,在参数空间中交于公共点的曲线所对应的笛卡尔坐标系中的坐标点一定在一条直线上。

这样,如果把数据空间上的这些点的能量(信噪比)分布到各相应的 Hough 参数空间的正弦曲线上并进行叠加,那么在这些正弦曲线的交点上将会出现一个峰值。因此初始化一条在平面内的直线航迹,就等价于在 $\theta - \rho$ 平面内找到一簇正弦曲线的交点。

1.2 典型 Hough 变换基本算法

输入: 次扫描得到的数据空间中的所有数据点 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N^{[4]}$ 。

(1) 以一定的量化间隔 $\Delta\theta$ 将自变量参数 θ 离散化,将参数 θ 分为 N_θ 份,每一份的大小为 $\Delta\theta = \pi/N_\theta$,则离散取值为 θ_n :

$$\theta_n = (n - 1/2) \Delta\theta \quad n = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (3)$$

(2) 对于数据空间中的每个数据点 (x_i, y_i) ,在所有自变量参数 θ 的每个离散取值 θ_n 处按照下式计算 ρ 的值,将所有结果保存到矩阵 ρ 中。

$$\rho_i(\theta_n) = x_i \cos(\theta_n) + y_i \sin(\theta_n) \quad i = 1, 2, \dots, N, n = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (4)$$

(3) 对每个 θ_n ,估计 $\rho_i(\theta_n)$ 的平均值 $\bar{\rho}(\theta_n)$,则 $\rho_n(\theta_n)$ 同这些平均值的最大偏差可以定义为:

$$\Delta\rho(\theta_n) = \max\{|\rho_i(\theta_n) - \bar{\rho}(\theta_n)|, i = 1, 2, \dots, N\} \quad n = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (5)$$

(4) 遍历所有的 θ_n ,查找偏差 $\Delta\rho(\theta_n)$ 的最小值 $\Delta\rho$,即:

$$\Delta\rho = \min\{\Delta\rho(\theta_n)\} \quad n = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (6)$$

(5) 将 $\Delta\rho$ 与预先确定的门限进行比较,若 $\Delta\rho < T$,则起始航迹。

输出: 由参数 (θ_0, ρ_0) 确定的航迹,航迹起始完毕。

2 基于 3/4 逻辑的改进 Hough 变换方法

2.1 基本原理

本文所述的航迹起始算法主要包括两步:

第一步,一次点迹数据采用 3/4 逻辑通过速度选通实现互联配对形成可能航迹。3/4 逻辑的含义

是在雷达连续4次扫描周期内,如果有3次扫描得到的量测来源于同一目标则可以起始航迹;

第二步,采用改进的 Hough 变换方法判断可能航迹是否来源于同一个目标以起始航迹。来源于同一个目标的量测必然共线(假定目标做直线运动),即 Hough 变换后参数空间中的曲线交于一个公共点。但是在实际的工程中,由于测量噪声等误差的存在,直线运动目标的一次点迹经过 Hough 变换到参数空间大多数曲线不是交于一个公共点,而是交在一个小方格中,这个小方格即是门限。因此,这一步工作的本质就是判断组成可能航迹的一次点迹经 Hough 变换后得到曲线的交点是否满足门限,如果交点在门限内则起始航迹,否则撤销可能航迹。

2.2 算法描述

输入:第*i*次扫描的第*n*个数据点 (x_i^n, y_i^n) , $i=1, 2, \dots, N$ 。

(1)结合判断航迹起始的3/4原则,考察4个扫描周期来起始航迹。设第一次扫描得到的量测集为 $Z_1 = \{(x_1^1, y_1^1), \dots, (x_1^{m_1}, y_1^{m_1})\}$,第二次扫描的量测集为 $Z_2 = \{(x_2^1, y_2^1), \dots, (x_2^{m_2}, y_2^{m_2})\}$,第三次、第四次扫描的量测集分别为 $Z_3 = \{(x_3^1, y_3^1), \dots, (x_3^{m_3}, y_3^{m_3})\}$, $Z_4 = \{(x_4^1, y_4^1), \dots, (x_4^{m_4}, y_4^{m_4})\}$ 。

(2)速度选通。量测值必须满足速度选通的条件,才能使用 Hough 变换方法变换到参数空间去。输入:前三个扫描周期的所有量测值 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 ,表示如下 $\forall (x_{j_1}^1, y_{j_1}^1) \in Z_1, j_1 = 1, \dots, m_1, (x_{j_2}^2, y_{j_2}^2) \in Z_2, j_2 = 1, \dots, m_2$ 和 $(x_{j_3}^3, y_{j_3}^3) \in Z_3, j_3 = 1, \dots, m_3$,同时满足下式10和式11的量测点组成可能航迹量测集 S_{123} 。使用速度选通可以将进行 Hough 变换的量测值的数量大大减小,达到降低运算量的目的。

$$V_{\min} \leq \left| \frac{x_{j_2}^2 - x_{j_1}^1}{t_2 - t_1} \right| \leq V_{\max} \quad (10)$$

$$V_{\min} \leq \left| \frac{x_{j_3}^3 - x_{j_1}^1}{t_3 - t_1} \right| \leq V_{\max} \quad (11)$$

(3)改进的 Hough 变换。输入:4个扫描周期内,通过速度选通的前三次扫描的量测值构成的可能航迹 S_{123} 的所有数据点 (x_i^n, y_i^n) , $i=1, 2, 3$ 。

1)将参数 θ 分成 N_θ 份,每份大小为 $\Delta\theta = \pi/N_\theta$,从而这些间隔的中心为:

$$\theta_n = (n-1/2)\Delta\theta \quad n=1, 2, \dots, N \quad (12)$$

2)对可能航迹中每次扫描的量测 (x_i^n, y_i^n) ,按下式在所有的 θ_n 点计算 ρ 的值。对来自 N 个扫描周期的 N 个量测值进行计算,结果体现在一系列的 ρ 值中,即:

$$\rho_i^n(\theta_n) = x_i^n \cos(\theta_n) + y_i^n \sin(\theta_n) \quad (13)$$

式中, $i=1, 2, \dots, N, n=1, 2, \dots, N, j_i=1, 2, \dots, m_N$ 。

3)对相邻扫描周期*i*和*i+1*的每一对量测 (x_i^n, y_i^n) 和 (x_{i+1}^n, y_{i+1}^n) 对应的 ρ 值,定义:

$$\Delta\rho_i^n(\theta_n) = \rho_{i+1}^n(\theta_n) - \rho_i^n(\theta_n) \quad (14)$$

4)搜索使 $|\Delta\rho_i^n(\theta_n)|$ 最小的 θ_n ,记作 $\theta^{(i)}$,即:

$$\theta^{(i)} = \operatorname{argmin}\{|\Delta\rho_i^n(\theta_n)|, n=1, 2, \dots, N_\theta\} \quad (15)$$

5)如果对 $i=1, 2, \dots, N-1$,下式均成立,则可能航迹被确立,记录这 N 个扫描周期的 N 个量测值。

$$|\Delta\theta^{(i)}| = |\theta^{(i+1)} - \theta^{(i)}| \leq \varphi \quad i=1, 2, \dots, N-1 \quad (16)$$

式中, φ 是预先确定的阈值或者称作是门限。

6)输出由个量测值确定的目标航迹。

(4)在4次扫描中,除了上述情况(第一次、第二次和第三次扫描的量测点共线)可以起始航迹外,第一次、第二次和第四次扫描的量测点共线;第一次、第三次和第四次扫描的量测点共线;第二次、第三次和第四次扫描的量测点共线,根据3/4原则,这3种情况也可以起始航迹。针对上述3种情况,输入分别改为 Z_1 、 Z_2 、 Z_4 , Z_1 、 Z_3 、 Z_4 和 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 ,重复进行步骤二、步骤三来起始目标航迹。

(5)航迹起始完毕。

3 结束语

航迹起始的经典 Hough 变换方法虽然克服了传统航迹起始方法的缺陷,解决了航迹起始研究、特别是复杂环境下航迹起始研究的瓶颈问题,但该算法同时综合考虑了时间和空间上的信息,使其不可避免的有着计算量大、存储量大的缺点,并且需要多次扫描才能获得良好的航迹起始效果,不符合工程应用的需要。

针对经典 Hough 变换法的上述缺点,为了使 Hough 变换方法易于工程实现,本文提出了基于 3/4 逻辑的改进 Hough 变换方法。该算法采用速度选通,降低了 Hough 变换的运算量;以 3/4 逻辑法为航迹起始的依据,扫描周期较少可以达到快速起始航迹的目的;同时采用改进的 Hough 变换算法判断观测值是否共线,并以此作为 3/4 逻辑法中确定观测值是否来源于同一目标的判据,可以在密集杂波环境中达到很好的起始效果;参数空间门限值选取的好坏直接决定了航迹起始的效果,关于门限值的选取目前还未见统一的标准,本算法始终采用 3 个量测进行 Hough 变换,使得参数空间门限值的计算变的相对容易。因此,本算法具有更低的计算量,在时间和空间代价上都具有一定的优越性,有效的解决了密集杂波环境中目标航迹的快速起始问题。

参考文献

- [1] 何友. 雷达数据处理及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006:83-99.
- [2] Leung H, Hu Z, Blanchette M. Evaluation of multiple target track initiation techniques in real radar tracking environments[J]. IEE Proceedings on Radar Sonar Naving, 1996,143(4):246-254.
- [3] 金术玲. Hough 变换关键问题研究及其在航迹起始方法中的应用[D]. 西安:西北工业大学,2004.
- [4] 霍航宇. 快速目标航迹起始研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

Approaches for Track Initiation Based on Hough Transform

WANG Feng

(Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an Shanxi 710100, China)

Abstract: Track initiation is the most important problem of track processing. Summarized the algorithm of target track initiation based on classical Hough transform by the studying of the target track initiation with Hough transform. To meet the lack of practical application, present a new track initiation algorithm based on 3/4 logical improved Hough transform. The algorithm according to 3/4 logic to start the track, and used the improved Hough transform to determine whether the three points is in a same straight line, so the algorithm is an effective solution to the problem that is the fast track initiation in the dense clutter environment. The algorithm could obliterate some clutter and reduce the volume of operation by adding a velocity - election rule, so the algorithm is propitious to engineering practice.

Key words: track initiation; velocity - election rule; Hough transform