

多雷达多目标航迹起始算法研究

吴丹, 冯新喜

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:提出了一种基于聚类分析与逻辑法相结合的集中式多雷达航迹起始算法。首先采用聚类算法对传送到融合中心的数据进行聚类,使每一类中的数据代表同一个目标,并找出聚类中心作为等价的单雷达的量测,从而使航迹起始过程相对简化;在起始算法中根据目标的运动特点,对逻辑法进行了一定的改进。仿真试验证明了该算法的有效性。

关键词:多雷达;聚类;逻辑法;航迹起始

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)01-0016-04

航迹起始指的是未进入稳定跟踪前的航迹确立过程。它是目标跟踪的第一步,实际上是一种建立新的目标档案的决策方法,主要包括暂时航迹形成、航迹初始化和航迹确定三个方面。即用雷达开始的几个扫描周期内的观测量,进行“点一点”数据关联,形成暂时航迹,在经过有限步的确认及滤波后,报告航迹起始,最终形成可靠航迹。

关于航迹起始问题,目前已经积累了众多的参考文献,但大都集中于单传感器的情况^[1-5],对多传感器的航迹起始问题研究相对较少^[6]。在众多的研究著作中,应用于工程的多是直观法和逻辑法,涉及似然、后验、检测、虚警概率的方法,作为理论上与方法上的研讨,可以深知问题的复杂程度,在工程上应用得不多。

本文提出了一种基于聚类分析与逻辑法相结合的集中式多雷达航迹起始方法。该方法的基本思想为:首先在一个周期内,采用一定的聚类算法对传送到融合中心的量测点进行聚类(假设已经过时空配准),使每一类中的数据代表同一个目标,并找出聚类中心作为等价的单雷达的量测,使航迹起始问题相对简化;在航迹起始算法中,根据目标的运动特点,对逻辑法进行了一定的改进,将跟踪门减小,可有效消除杂波,降低虚警概率。仿真试验证明了该方法的有效性。

1 基于观测值聚类的点迹合并过程

在多雷达系统中,经过配准以后,融合中心接收到的数据成团状,且大致分布在目标真实值的周围。这时,可以运用模式识别中的聚类思想来进行点迹合并处理,从这些量测值中区分哪些属于同一批目标的回波,哪些是杂波,继而实现对目标的跟踪。

聚类的规则为:在数据较密集的地方设置聚类中心;距离聚类中心较近的归为一类,为此聚类中心的势力圈;聚类中心与它的势力圈内的数据越接近,则认为聚类效果越好;反复计算聚类中心和归类,使聚类结果逐步优化。

以欧几里德范数来表示数据间的接近程度,即:

$$d(X, Y) = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \cdots + (x_n - y_n)^2 \quad (1)$$

式(1)中,样本 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_n)^T$ 和 $Y = (y_1, y_2, \cdots, y_n)^T$, 每个样本数据含有 n 个分量。

聚类中心为

收稿日期:2005-07-12

基金项目:军队2110工程重点实验室建设资金资助项目

作者简介:吴丹(1981-),女,辽宁昌图人,硕士生,主要从事数据融合理论与应用研究;

冯新喜(1962-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事数据融合理论与应用、模式识别等研究。

$$C_m = \sum_{j=1}^{I_m} \alpha_j X_j^{(m)} \quad ; \quad \sum_{j=1}^{I_m} \alpha_j = 1 \quad (2)$$

这里: $X_j^{(m)}$ 为以 c_m 为中心的类中所有的样本; α_j 为对应样本的权系数, $j = 1, 2, \dots, I_m$; I_m 为第 m 个聚类中的样本数目; m 为聚类的个数。

假设总共有 k 个聚类, $1 \leq m \leq k$ 。分别计算样本 X 与所有聚类中心的距离 $d(c_1, X), \dots, d(c_m, X), \dots, d(c_k, X), \dots$ 。若

$$d(c_p, X) = \min\{d(c_1, X), \dots, d(c_m, X), \dots, d(c_k, X)\}, 1 \leq p \leq k \quad (3)$$

则 X 属于 c_p 类。

对于以 c_m 为中心所聚的类的偏移量 $D(m)$ 定义为

$$D(m) = \sum_{x \in I_m} d(c_m, X) \quad (4)$$

偏移量 $D(m)$ 反映了第 m 类数据的偏移程度, 或者反过来说紧凑程度。则总偏移量 D 定义为

$$D = \sum_{j=1}^k D(j) \quad (5)$$

总偏移量 D 越小, 则聚的类越紧凑, 因而越好。

聚类过程为

- 1) 按式(1)计算不同雷达任意两个观测值 X, Y 之间的距离 $d(X, Y)$;
- 2) 按从小到大的顺序对 $d(X, Y)$ 排序;
- 3) 依次检查各个距离 $d(X, Y)$, 若已经聚入某类, 则跳过, 否则, 检查距离 $d(X, Y)$ 是否小于给定的势力圈半径 r : 若 $d(X, Y) \leq r$, 创建一个类并将 X, Y 归入其势力圈, 并依次检测后面的各个距离 $d(X, Y)$, 把距 X 或 Y 距离小于 r 但未被归类者并如其势力圈, 将后面所有与本类中 X 和 Y 有关的距离 $d(X, Y)$ 作标记, 以后不再使用。若 $d(X, Y) > r$, 为 X 和 Y 分别创建一个类, 每类的势力圈中只含有一个样本, 将后面所有与本类中 X 和 Y 有关的距离 $d(X, Y)$ 作标记, 以后不再使用。若已检查完所有的距离, 则转第4步, 否则返回第3步;
- 4) 检查各个样本, 未被聚入者单独作为一类;
- 5) 按式(2)计算各类的中心;
- 6) 计算所有样本与各聚类中心的距离并按式(3)的原则重新归类。反复进行调整直至总偏移量不在显著减小为止。

在上述过程中必须注意的是: 一个类里不可能有两个测量值来自同一雷达, 因为来自同一雷达的两个测量值不可能与同一目标关联, 而且一个类里包含的测量值数目小于或等于所有雷达扫描到的点迹。

2 航迹起始过程

经过以上的点迹合并过程, 整个多雷达系统完全可以等价于单雷达的情况, 航迹起始过程也大大简化了。本文提出了一种航迹起始的实用方法, 即在逻辑法的基础上做了一定的改进, 采用了部分圆跟踪门的方法。

2.1 暂时航迹的形成

采用圆环波门, 用于形成暂时航迹, 并初次排除与暂时航迹无关的量测点。如图1所示, 图中 P_0 为已记录的自由点, 以它为中心构造圆环波门, 其中, 大圆半径 $R = v_{\max} T$, 小圆半径 $r = v_{\min} T$, v_{\max} 和 v_{\min} 分别为检测目标的最大和最小可能飞行速度, T 为雷达的处理周期。一些典型的目标运动参数如表1所示。

在下一扫描周期, 若有新的量测点落入 P_0 的圆环波门内, 如 P_1, P'_1 , 则它们可能与 P_0 相关, P_0 与其构成暂时航迹, 有待于下面进一步的确认; 若有落在圆环外的量测点, 如 P''_1 , 则其不可能与 P_0 相关; 若一个量测点不与任何已记录的自由点相关, 就把它也记录为自由点。这样, 利用圆环波门可以形成暂时航迹, 并粗略排除了与暂时航迹无关的量测点。

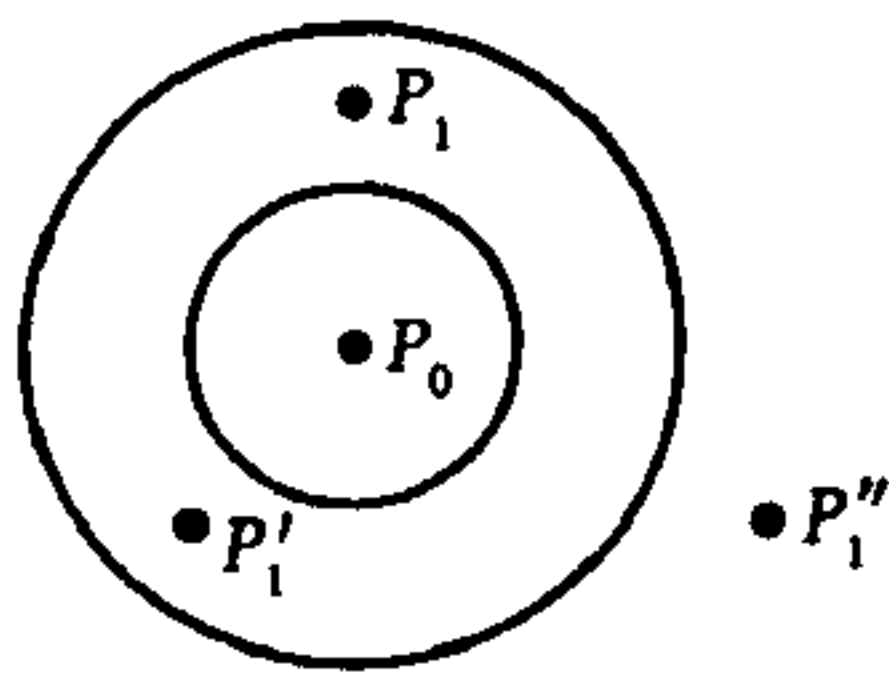


图1 圆球波门

表1 典型目标的运动参数表

目标	速度/(m/s)	加速度或转弯速度
船	0 ~ 20	2°/s
军用飞机	50 ~ 1000	50 ~ 80 m/s ²
导弹	200 ~ 1200	100 m/s ²
直升机	0 ~ 80	10 m/s ²
民航	50 ~ 300	1.5° ~ 3°m/s ²

2.2 暂时航迹的确认

由于航迹起始时,目标距离比较远,一般做匀速或匀加速直线运动,根据这一特点,进一步运用部分圆跟踪门可以排除与已经建立的暂时航迹无关的量测点。如图2所示,暂时航迹由 P_0 和 P_1 构成, P_2 、 P'_2 和 P''_2 是下一扫描周期中得到的部分量测点。 P 是根据 P_0 和 P_1 外推得到的预测点,外推公式为

$$\begin{cases} x = \frac{\bar{v}\Delta t(x_1 - x_0)}{D(P_0, P_1)} + x_1 \\ y = \frac{\bar{v}\Delta t(y_1 - y_0)}{D(P_0, P_1)} + y_1 \end{cases} \quad (6)$$

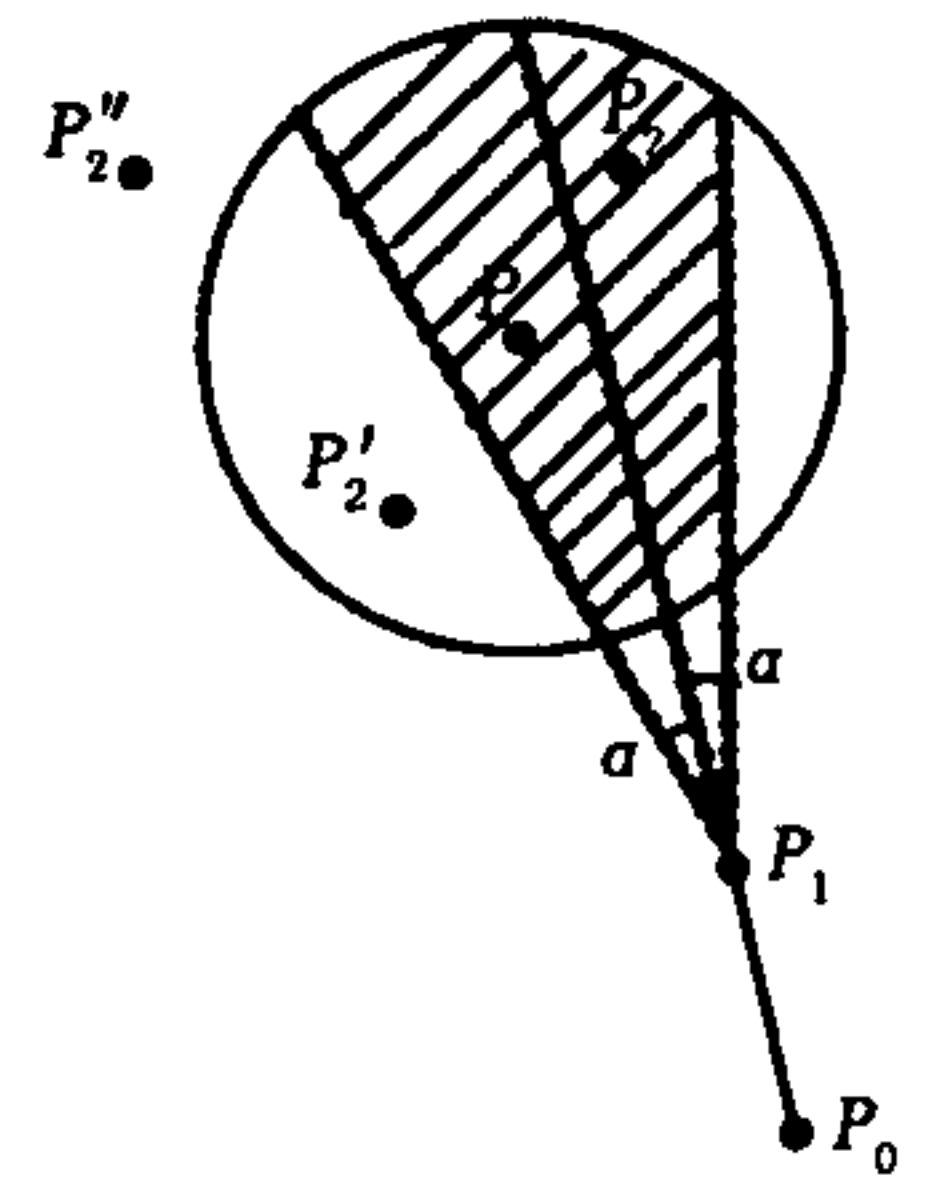


图2 部分圆跟踪门

其中, (x, y) 是外推点 P' 的坐标, (x_0, y_0) 、 (x_1, y_1) 分别是 P_0 和 P_1 的坐标, Δt 是 P_0 和 P_1 的时间差, \bar{v} 是在 P_1 点计算得到的速度, $D(P_0, P_1) = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$ 。

以 P 为圆心构造圆形跟踪门,跟踪门的大小由下式确定。

$$r = v_{ideal} T \quad (7)$$

式中, r 是圆形跟踪门的半径, v_{ideal} 是检测目标的正常飞行速度。由于航迹起始时,目标距离比较远,一般做匀速或匀加速直线运动,即目标在相邻两次扫描期间不可能有大的转弯,角度 α 值不可能很大,根据这一特点,可将跟踪门进一步减小到如图2中阴影部分所示。位于部分圆跟踪门外的量测点不和相关暂时航迹,如 P'_2 、 P''_2 ;位于圆形跟踪门内的量测点可能和该暂时航迹相关,如 p_2 。则将 p_2 加入暂时航迹中。

继续上述步骤,直至暂时航迹中的量测数达到5个,则宣布航迹起始成功;若某次扫描中没有量测点落入跟踪门内,则终止该暂时航迹。在各个周期中不与任何航迹相关的量测点记录为自由点。

此方法根据目标的运动特点,将跟踪门减小,可有效抑制杂波,降低虚警概率。

3 仿真试验

3.1 仿真环境设置

假设目标跟踪门内的虚警量测数服从泊松分布,虚警密度 $\lambda = 10^{-4}/m^2$ 。用于航迹起始的滑窗宽度为5,雷达的处理周期 $T = 1$ s。

仿真目标状态用向量 $[x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y}]^T$ 表示。其中4个分量分别代表: x 方向位置、 x 方向速度、 y 方向位置、 y 方向速度。

仿真目标 t 的状态方程为

$$x(t, k+1) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t, k) + \begin{bmatrix} T^2/2 & 0 \\ T & 0 \\ 0 & T^2/2 \\ 0 & T \end{bmatrix} v(k) \quad (8)$$

目标运动模型中过程噪声 $v(k)$ 的协方差阵分别为: $Q_1 = 0.75I$ 、 $Q_2 = I$ 、 $Q_3 = 1.5I$, 其中, I 为 2×2 的单位阵。

假定在目标跟踪过程中只有位置量测信息,所以量测方程为

$$z(t, k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x(t, k) + w(k) \quad (9)$$

量测噪声 $w(k)$ 的协方差阵 $R = 2I$ 。

$\alpha = 30^\circ$, $v_{\max} = 6 \text{ m/s}$, $v_{\min} = 3 \text{ m/s}$, $v_{ideal} = 5 \text{ m/s}$, 3 个目标的初始状态为

$x(1,0) = [10, 3, 10, 4]^T$, $x(2,0) = [20, -3, 20, 3]^T$, $x(3,0) = [30, 4, 20, 3]^T$ 。

3.2 仿真结果

图3给出了在一次 MATLAB 仿真试验中从初始时刻到 $k = 5$ 时多目标的运动轨迹,从图中可以看出,该方法可以有效地进行航迹起始。

4 结束语

本文提出了一种集中式多雷达航迹起始的实用方法。该方法采用了模式识别中的聚类法对点迹进行预处理,从而可以将多雷达量测等价于单雷达量测,使航迹起始问题变得相对简单。此外,在逻辑法航迹起始的基础上将跟踪门缩小,有效地消除了杂波,提高了航迹起始的质量。

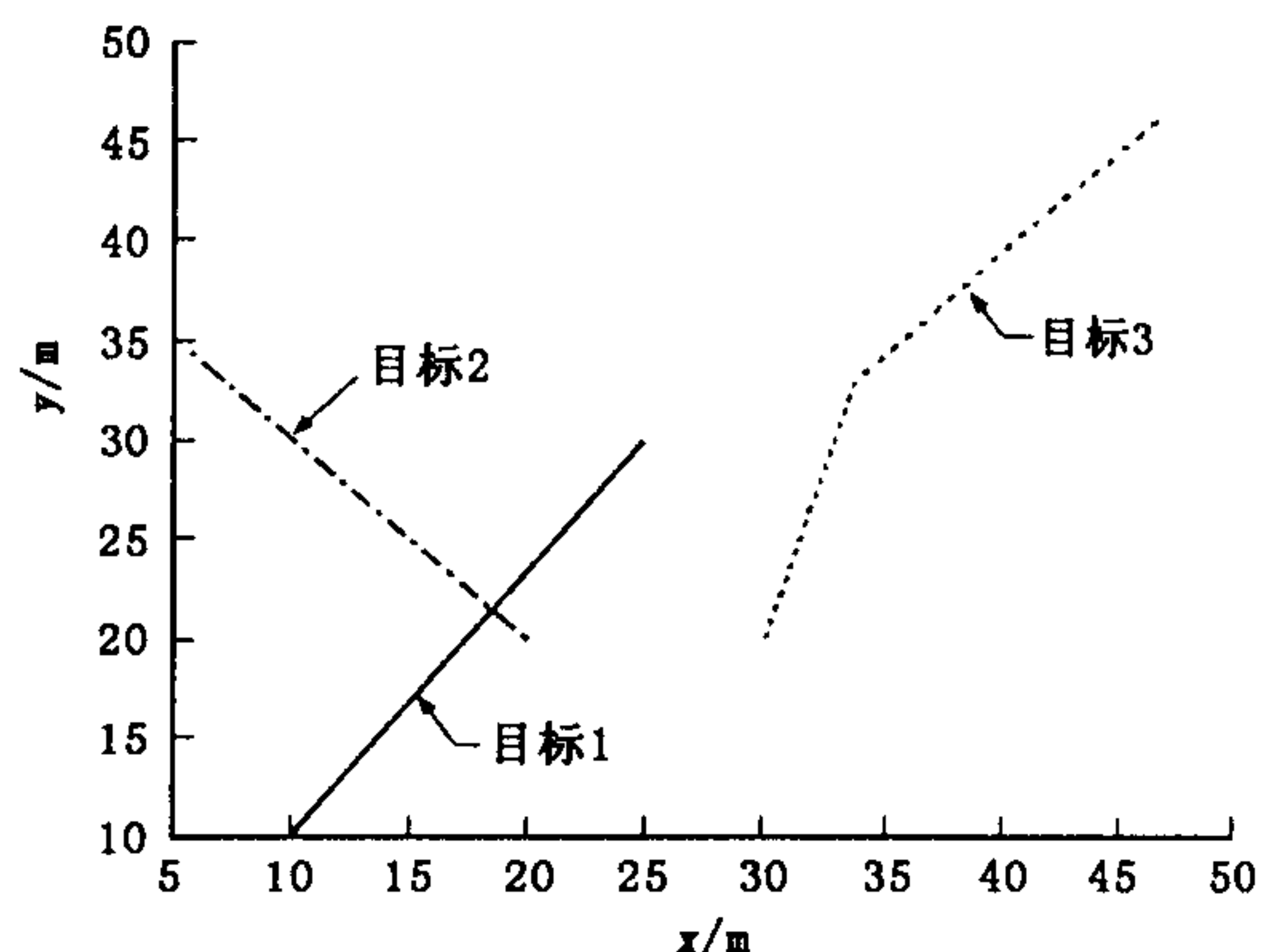


图3 多目标运动轨迹图

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘洋. 基于观测值聚类的多雷达数据融合[J]. 雷达与对抗, 2002, 2: 5 - 10.
- [3] Leung H, Hu Z, Blanchette M. Evaluation of Multiple Target Track Initiation Techniques in Real Radar Tracking Environments [J]. IEE Proceeding on Radar, Sonar Naving, 1996, 143(4): 246 - 254.
- [4] 陈小曼. 基于模糊决策的密集多回波环境下航迹起始算法[J]. 雷达与对抗, 2004, (3): 27 - 32.
- [5] 朱洪艳. 航迹起始算法研究[J]. 航空学报, 2004, 25(3): 284 - 288.
- [6] Pawlak R J, Beex A A. Fusion Technique for Multisensor Track Initiation[J]. IEE Proc. - Radar, Sonar Navig, 1995, 142(5): 225 - 231.
- [7] 卢科奇, 申卯兴, 张平定, 等. 目标多航迹数据动态灰色关联算法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2004, 5(5): 17 - 20.

(编辑: 门向生)

A Practical Algorithm of Multi - radar Multi - target Track Initiation

WU Dan, FENG Xin - xi

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: Track initiation is a precondition to carry out tracking targets effectively. In the paper, an algorithm of track initiation based on clustering and Logic - Basic approach is proposed. First, the data transmitted to the fusion center are clustered, which makes the data in each cluster stand for the same target. Then the center of each cluster is found and taken as the measurement from single radar. By doing so, the track initiation process is simplified. According to the characteristic of targets' movement, an improvement is made in the Logic - Basic approach. Simulation results indicate that the algorithm is effective.

Key words: multi - radar; clustering; Logic; track initiation