

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.010

MHT 算法在航迹关联中的应用

尹文进, 张静远, 饶 喆
(海军工程大学兵器工程系, 武汉 430033)

摘要: 为了将水下航行器探测目标过程中出现的混淆的目标点迹进行有效分离, 将基于卡尔曼滤波的多假设跟踪算法应用于多目标的航迹关联。介绍了多假设算法的基本流程和原理: 假设的产生、概率计算和假设剪除, 并进行数值仿真。仿真结果表明: 多目标跟踪算法能够有效解决“量测-目标”数据关联问题, 并且能在较短时间内确认目标航迹。

关键词: 多目标; 航迹关联; 多假设跟踪
中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Application of Multi Hypothesis Track Algorithm in Track Association

Yin Wenjin, Zhang Jingyuan, Rao Zhe
(Department of Weaponry Engineering, Naval Engineering University, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to separate the confused targets spots in the process of the detection of underwater vehicle, use multi-hypothesis track algorithm which was based on Kalman filter theory in application of multi-targets track association. The basic process and principle of multi hypothesis method were introduced in this paper. The basic process included the generation of hypothesis, the calculation of probability and the hypothesis deleting. Simulation experiment proved that multi-hypothesis track algorithm can effectively solve the measurement target data association problem. The target track can also be affirmed in short time.

Keywords: multi-target; track association; multi-hypothesis track (MHT)

0 引言

水下航行器探测过程中, 有可能会同时探测多批目标。然而探测器得到的是混淆的目标点迹信息。如何对混淆的目标点迹信息按照其属性实施有效分离是水下航行器对探测信息处理过程中需要解决的问题。只有将多批目标实施有效分离, 即航迹关联, 才可能有选择性地对目标实施跟踪。

数据关联过程是解决多目标航迹关联的核心技术。经典的量测-航迹关联方法主要有概率数据关联法、联合概率数据关联法和多假设方法 (multi-hypothesis tracking, MHT) 等。概率数据关联算法和联合概率数据关联算法能很好地处理目标跟踪, 并在很多领域得到了广泛的应用; 但是一旦出现某种干扰或是故障, 通过概率数据关联算法得到的滤波值也会偏离真实值很多, 造成滤波发散, 严重影响性能。而多假设方法能够充分利用目标的历史点迹信息对目标点迹属性进行假设。在一定的目标运动规律下, 根据一定规则进行概率计算, 计算出较大可能的目标点迹组合。由于其准确率较高, 受到愈来愈多研究者的重视; 因此, 笔者采取多假设法对多目标点迹的信息进行分离^[1-3]。

1 MHT 算法简介

多假设多目标跟踪算法 MHT 是 1978 年由 Reid 首先提出来的, 以“全邻”最优滤波器和 Bar-shalom 提出的聚概念为基础^[1]。在理想假设条件下, MHT 被认为是处理数据互联的最优方法。它有以下特点: 1) 将航迹起始和航迹维持统一在一个框架上处理; 2) 其他算法(如最近邻 NN、概率数据关联 PDA、联合概率数据关联 JPDA 等)都看作它的一个子集^[4-5]。

2 MHT 算法实现过程

MHT 算法的主要实现过程包括“假设”的产生(每一可能航迹为一假设), 每一个假设的概率计算以及假设剪除。

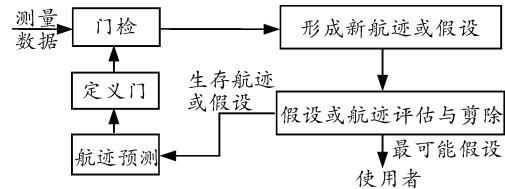


图 1 多假设跟踪的实现流程

图 1 是 MHT 逻辑实现的示意图。收到数据后形成假设。假设由航迹组成。航迹的状态估计由标

收稿日期: 2015-12-23; 修回日期: 2016-01-29
作者简介: 尹文进(1988—), 男, 安徽人, 博士, 从事制导与控制技术研究。

准 Kalman 滤波器用新数据予以更新。利用航迹的状态估计和协方差形成各自的关联门，以便在下帧数据到来后，避免不可能假设的产生。为了进一步限制假设数量，还需进行假设剪除。

2.1 假设的产生

设 Ω^k 是至 k 时刻的互联假设集。从 Ω^{k-1} 和最新量测集，按以下得 Ω^k 集，即 $Z(k) = \{Z_i(k)\}_{i=1}^{m_k}$ 通过互联到 Ω^{k-1} 的第一个 $Z_i(k)$ ，然后用 $Z_2(k)$ 扩展所得的集，就能形成新的假设^[6-9]。对于 $Z_i(k)$ 可能的互联：它是已有的目标确认航迹的继续；它是新目标；它是虚警。每个目标最多能与一个当前时刻的量测互联，而且该量测必须落入它的确认区域内。

2.2 概率计算

与现在量测有关的事件 $\theta(k)$ 包括： τ 个量测源于已确认的航迹， ν 个量测源于新目标； ϕ 个量测是虚警或杂波。

对于 $i=1, \dots, m_k$ ，定义与 $\theta(k)$ 事件有关的以下标记变量：

$$\begin{aligned} \tau_i &= \tau_i[\theta(k)] = \begin{cases} 1 & Z_i(k) \text{ 来自已确认航迹} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} ; \\ \nu_i &= \nu_i[\theta(k)] = \begin{cases} 1 & \text{如果 } Z_i(k) \text{ 是新目标} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} ; \\ \delta_i &= \delta_i[\theta(k)] = \begin{cases} 1 & \text{在 } k \text{ 时刻探测到航迹 } t \\ 0 & \text{其他} \end{cases} . \end{aligned}$$

在 $\theta(k)$ 事件中已确认的航迹数是 $\tau = \sum_{i=1}^{m_k} \tau_i$ ；在 $\theta(k)$ 事件中已确认的新航迹数是 $\nu = \sum_{i=1}^{m_k} \nu_i$ ；在 $\theta(k)$ 事件中虚假量测数是 $\phi = m_k - \tau - \nu$ 。对于任一假设 $\theta^{k,l}$ 的概率，其迭代计算公式为：

$$\begin{aligned} \Pr\{\theta^{k,l} | Z^k\} &= \frac{1}{C} \frac{\nu! \phi!}{m_k!} \mu_F(\nu) V^{-\phi-\nu} \\ &\prod_{i=1}^{m_k} \{N_{\tau_i}[z_i(k)]\} \prod_t (P_D^t)^{\delta_i} \\ &(1 - P_D^t)^{1-\delta_i} \Pr\{\theta^{k-1,s} | Z^{k-1}\}. \end{aligned}$$

式中： C 为归一化常数因子； μ_F 是假量测数和新目标数的先验 PMF； P_D^t 是航迹 t 的探测概率。

2.3 假设剪除

从假设树上剪除某些分支的方法同具体的应用问题有很大的关系。一种技术是事先设定一个固定门限，概率低于该门限的假设将被剪除。该方法的

缺点是它不考虑具体的计算资源^[10]。比如在系统完全有能力处理更多假设的情况下，它仍可能进行假设剪除。另一种剪除技术称为宽度方法^[11-13]，它是一种始终保留一定数量假设的方法。该技术根据假设概率获得分函数进行排序，每次仅保留 M 个最可能的假设。还有种类似的方法是对假设按概率排序，并根据概率由高到低的顺序进行求和，当该概率和超过某一门限时，其余假设即被删去。

3 数值仿真

以第一次探测时刻探测器的位置点为坐标原点，正东方向为 X 轴，建立大地平面直角坐标系。根据探测的方位距离信息确定 2 批目标在大地直角坐标系中的坐标信息。仿真条件：2 批目标均作匀速直线运动，他们的初状态分别为 $m_1(0, 0, 2000 \text{ m}, 7 \text{ m/s})$ 、 $m_2(50 \text{ m}, 7 \text{ m/s}, 2100 \text{ m}, 7 \text{ m/s})$ 探测得目标方位距离误差均服从正态分布。2 批目标的实际点迹如图 2 所示。

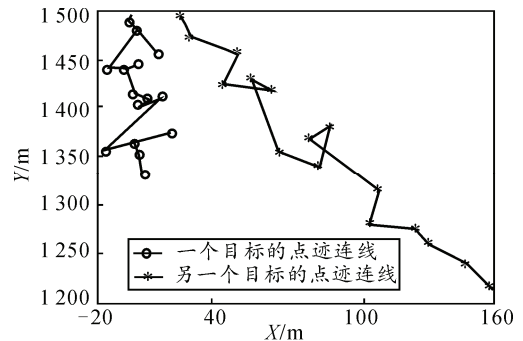


图 2 2 批目标点迹

水下航行器探测到的每一帧信息均为 2 批目标的点迹信息；因此，需要将这 2 批目标信息属性进行有效判断。运用多假设法对其进行分离，通过仿真，对可能的点迹组合根据概率进行排序，表 1 是排序最高的 8 组点迹组合。

表 1 关联结果

组别	航迹概率	正确率/%	组别	航迹概率	正确率/%
1	7.8×10^{-6}	94.11	5	3.1×10^{-12}	82.35
2	8.0×10^{-9}	82.35	6	2.7×10^{-6}	94.11
3	1.2×10^{-8}	82.35	7	1.1×10^{-5}	82.35
4	1.5×10^{-8}	88.24	8	1.5×10^{-5}	88.24

航迹概率是指该组点迹组合为正确航迹的概率。正确率是指该组点迹组合匹配正确的概率。由于总计有 2^{16} 种可能航迹组合；因此，航迹概率较低是合理的。从上表可以看出：第 8 组组合的航迹概率最高，关联效果较好，绘制其点迹如图 3。

图 3 为两目标各自点迹的连线。二者第 1 点迹和第 3 点迹由于距离较近，出现匹配错误，其余点迹均匹配成功。