

空中目标航向估计的稳定性

范瀚阳^{1,2}, 张弓², 刁联旺¹

1) 中国电子科技集团公司第二十八研究所 信息系统工程重点实验室, 江苏 南京 210007;

2) 雷达成像与微波光子技术教育部重点实验室(南京航空航天大学), 南京 210016

摘要: 空中目标运动轨迹包含的航向、速度和机动等信息对目标意图估计以及威胁评估具有重要作用,但是由于噪声以及空中目标机动复杂性等因素的影响下,这些信息随时间变化剧烈,从而导致基于这些信息做出的意图估计结果不稳定、不可靠。为此,本文首先利用 SOM 神经网络对目标轨迹进行处理,提取特征,再利用最小二乘方法推导出一段时间内目标稳定的航向估计,最后得到稳健可靠的目标意图估计。仿真试验验证了本文所述方法的有效性。

关键词: 意图估计; SOM 神经网络; 稳定的航向估计

中图分类号: TP391.77文献标识码: A

The Stability of Air Target Direction Estimation

Fan Han Yang¹, Zhang Gong¹, Diao Lian Wang²

1) Science & Technology on Information System Engineering Lab., The 28th Research institute of CETC, Nanjing 210007

2) Key Lab. of Radar Imaging and Microwave Photonics, Nanjing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016

Abstract: The three-dimensional trajectory information of the air target contains the information of the direction, velocity and maneuvering of the target. It has important effect on the target intention estimation and threat assessment. But due to the noise and target for snakes and other factors influence under, goal is always showing irregular trajectory, making target real-time direction to make the intention estimation is not stable, acutely changes with time. Therefore, it is of great significance to estimate the stability of the target. The SOM neural network for three-dimensional target trajectory processing, feature extraction, stable target in the time direction estimates are derived by using the least square method and get stable target intention estimation. Finally, the method of this paper is verified by simulation.

Key words: Intention estimation; SOM neural network; estimation of stable direction

引言

对空中目标的战术意图进行估计是空战辅助决策的基础,对空战的结果起着重大而深远的影响^{[1][2]}。在较短的时间内准确而高效的对作战态势进行评估,是实施作战指挥、战术选择、目标和火力分配等任务的重要前提。判断对方空中目标意图的依据有来机种类、目标速度、目标编队形式等,而敌方目标的飞行方向是判断敌方目标战术意图的一个重要因素^[3]。

然而,敌方的空中目标在接近我方区域的过程中,并不总是指向我方区域,呈直线前进的,敌目标会做出各种机动,甚至迂回前进,影响我方对其真实前进方向的预测。这一特点反应在其轨迹上,即对方目标的轨迹常常呈现出规律的曲线。使用实时的前进方向作为依据进行目标意图估计,难以

得出准确的估计。这样针对同一目标,在一段时间内得出的意图估计将是不断变化的。文献[4]研究了 SOM 网络在二维轨迹特征提取中的应用,并将其用于威胁评估。而实际中,空中目标(如飞机、导弹)的轨迹是在三维空间上作复杂的机动运动的,敌方可能攻击的目标既可能是我方的空中平台,也可能是我方的地面、海上平台。因此,利用目标轨迹信息,求取三维空间中目标运动航向的稳定性估计具有更重大的实际意义。本文在文献[4]相关研究的基础上,将基于 SOM 网络技术提取二维轨迹特征的方法推广到三维空间中的目标运动轨迹,并将提取的目标轨迹特征运用最小二乘方法拟合目标在三维空间下的方向估计,即目标在三维空间下的稳定角度估计,该结果对目标意图估计的稳健推断具有十分重要的应用价值。

1 问题描述

对于空中目标（如一枚导弹）尽快尽早地对其威胁进行判断和排序具有十分重要的军事价值，一方面有利于作战指挥决策，另一方面也为作战单位赢得了更多的可利用的响应时间。多数威胁估计方法都是基于航路捷径(closest point of approach, CPA)的。在给定一个兴趣点(如地面指挥所等军事目标)和来袭导弹的速度向量的条件下，航路捷径是兴趣点在速度向量延长线上的正交投影(如图1所示)。

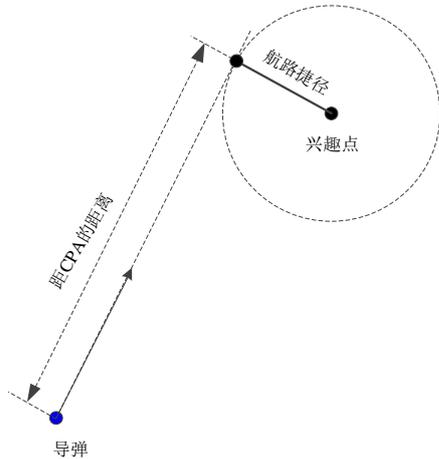


图1 航路捷径

距 CPA 的距离与航路捷径是十分有用的，如确定拦截导弹点，但由于导弹在接近兴趣点的过程中不断地机动，因此上述两个距离也是不断地变化着，如果存在多个兴趣点(军事目标)情形之下，确定哪个兴趣点真正地受到导弹的威胁也变得十分困难了(如图2所示)。

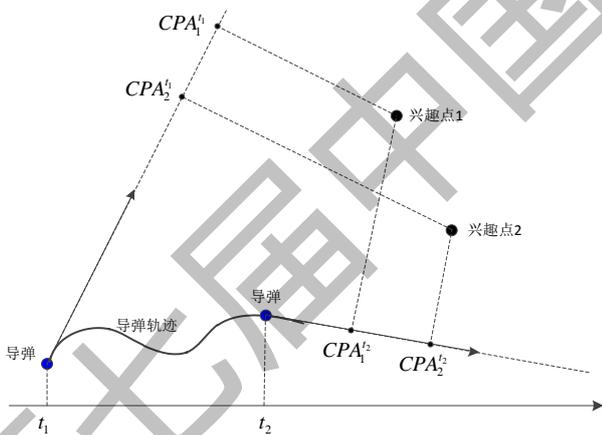


图2 导弹的机动带来航路捷径的变化

图2表明，当存在两个兴趣点时，如果导弹沿着一个波浪型的轨迹机动，则在时刻 t_1 时，兴趣点1的航路捷径要小于兴趣点2的航路捷径，兴趣点1受到更大的威胁；而在时刻 t_2 时，导弹的飞行产生了机动，此时，兴趣点1的航路捷径却要大于兴趣点2的航路捷径了，因而，兴趣点2可能受到更大的威胁了。可见要想得到导弹整个可拦截的期间的稳

定化的威胁，必须对导弹的运动轨迹进行平滑以得到一条直线，使它作为导弹运动的航向的估计。通常采用最小二乘法得到回归直线，但经验表明这种方法估计的误差较大，本文在文献[4]用SOM神经网络方法估计导弹航向的基础上，提出一种二步估计的方法，首先通过SOM神经网络提取导弹运动轨迹的代表性特征点，然后再利用最小二乘法进行回归求取直线方程，并推广到更加实用的三维空间上。

2 SOM 网络

自组织特征映射神经网络(Self-organizing Feature Maps)简称SOM,是一种无导师学习的网络,通过研究输入向量的分布特征和拓扑结构,对输入向量进行区域分类,由芬兰赫尔辛基大学 Kohonen 教授首次提出[5][6]。

人类大脑皮层中的细胞群存在着广泛地自组织现象,即一种细胞聚类的功能柱,它由多个细胞聚合而成,在接受外界刺激后,会自动形成,一个功能柱中的细胞完成同一种功能。SOM网络可以实现类似功能,处于其中不同区域的神经元有不同的分工,当一个神经网络接受外界输入模式时,将会分为不同的反应区域,各区域对输入模式具有不同的相应特征。一种典型的SOM结构如图3所示:

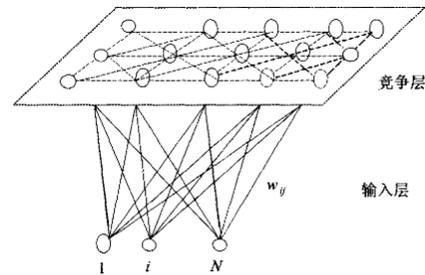


图3 SOM网络结构示意图

其最大的特点是神经元被放置在一维、二维或者更高维的网格节点上,使连接权值空间分布密度与输入模式的概率分布趋于一致,即连接权向量空间分布能反映输入模式的统计特征[7]。利用SOM网络的这一特性,在下一节,将讨论如何利用SOM网络对目标的轨迹进行特征提取,进而得出目标的稳定的方向估计。

3 SOM网络在目标方向估计中的应用

使用SOM网络对目标轨迹提取特征,网络的输入量即为轨迹的坐标,输出即为所提取的特征。网络的初始化参数由以下两个基本量决定:

1.采样率。即雷达每秒观测的轨迹点次数，如采样率为 0.5，则每秒有两个点迹被记录。

2.时间窗。即每次参与网络训练的轨迹长度。时间窗的设置可以有效防止过度计算，并且节约时间成本。

这些量确定后，相应的网络参数也随之确定。首先是目标的速度 s ，由相邻两点之间的距离结合采样率可以计算得出。三维 SOM 网络维度为 $w \times h \times j$ ，则 $w = T / (4 \cdot f)$, $h = w$, $j = w$ 。

在网络的训练过程中，随着轨迹数据的不断输入到网络中，目标的前置角不断变化，网络的网格也随之变化。通过实验发现，SOM 网中高活跃度的区域分布在轨迹曲线的曲率中心附近。在这些区域，网格呈现向心状分布，因此，网格中较短的线段 (edge) 即为所要提取的特征，这些特征表征了目标的前进方向。由于三维特征图并不直观，故以二维的特征图为例，如图 4 所示：

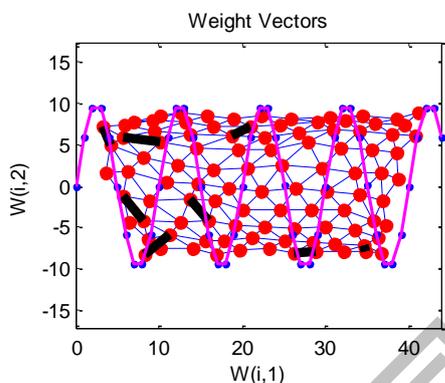


图 4 目标轨迹二维的特征图

其中，紫色为目标轨迹，黑色即为选取的特征。选取网络的特征的规则如下：

- 1.将当前网格中最短的网格线段加入到特征群中。
- 2.如果原有的特征群中的特征发生了变化，那么认为网格发生了变故，特征群保持不变，即不加入新的特征。若原有的特征群不发生变化，则将当前最短的网格作为特征加入到网格群中。

根据以上参数选择，以及特征选取原则，即可进行目标轨迹的平滑并且利用最小二乘法进行方向估计，下节给出了仿真示例。

4 仿真及结果分析

在 MATLAB 平台下，对 SOM 网络在目标方向稳定性估计中的应用进行仿真分析。首先在二维情况下（假定目标高度不发生变化的情况）进行仿真，假设目标为一枚导弹，初始速度为 850m/s，截取其 45 秒的轨迹，采样率为 1，其轨迹如图 5 所示：

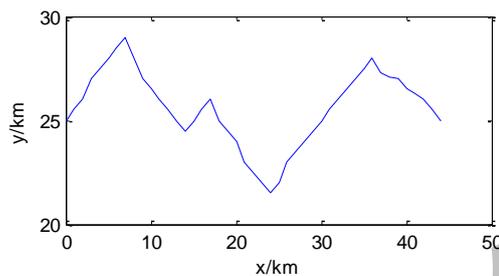


图 5 目标二维轨迹

使用三个 10x10 的 SOM 网络对轨迹进行处理，提取其特征，如图 6 所示：

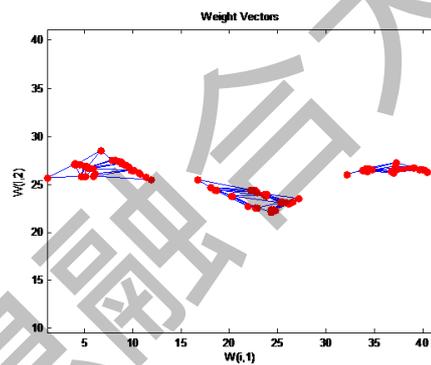


图 6 二维轨迹的特征

图中红色点为轨迹点，红色线段即为所提取的特征，分别取其中点，并利用最小二乘的方法将这些点拟合成一条直线，即为目标方向的稳定性估计 (图 7 所示)：

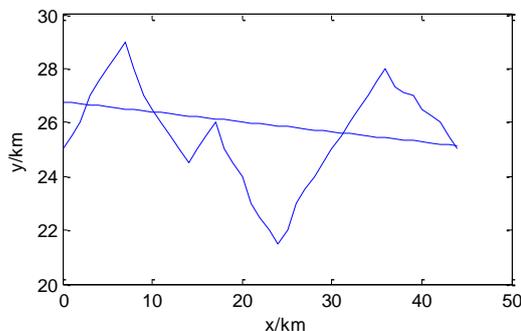


图 7 目标轨迹及方向估计

可以看到，实验得出的目标方向的估计约为垂直于纵轴，符合我们对于轨迹方向的初始设定。即这一 SOM 网络的处理，可以去除噪声已经目标机动的影响，对出目标方向的稳定性估计。

将高度考虑进来，即对上述的轨迹加入高度坐标，并且在设定过程中给予一定扰动，使其高度不断变化，如图 8 所示：

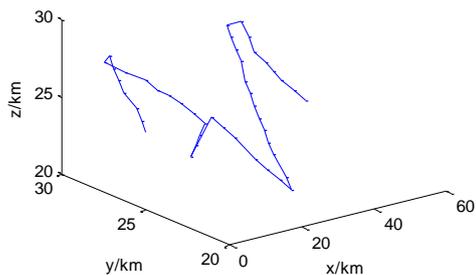


图 8 有高度变化的空中目标航迹

可以看到，目标的三维轨迹扰动非常大，使用三维 SOM 网络提取其特征如下（如图 9 所示）：

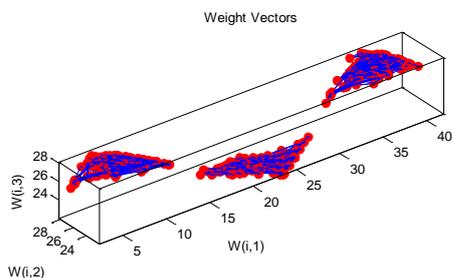


图 9 三维轨迹的特征

同样对特征取中点，使用最小二乘法拟合成一条三维坐标下的直线，即其在三维坐标下的方向估计，为方便研究，将其分别投影到平行和垂直于地面的两个面上进行观察，如图 10 所示

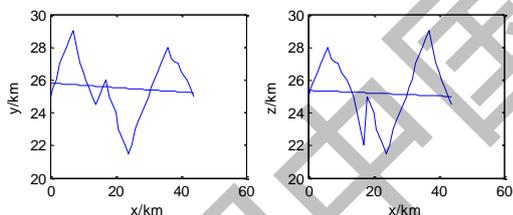


图 10 三维方向估计投影

可以看到，对于目标在这个平面内的稳定方向估计，都符合我们对于轨迹的初始设定，即可以得出目标在三维情况下的稳定的方向估计。通过仿真结果可以看到，目标在三维情况下的稳定方向估计具有很大意义。假设在 50km 处，分别位于 (50,25,24) 和 (50,25,28) 处有我方两架战机，则二维的方向估计无法判断出目标对于我方哪一架战机威胁更大，即其可能攻击哪一个目标，而使用本文所述的三维 SOM 网络进行方向估计，则在上述轨迹情况下，该目标攻击 (50,25,28) 处的我机意图更明显，即可以做出正确的目标意图估计。

结论

通过仿真实验分析，可以看到，对于空中目标的轨迹信息，由于考虑了高度的变化，是一个实时的三维轨迹，二维的方向估计无法满足对其意图估计的需求。本文所研究的三维 SOM 网络，在提取目标轨迹特征后，可以做出稳定的三维的方向估计。将这一结果与经典的意图估计方法，如贝叶斯网络，模板匹配等方法进行结合，可以得出更加稳健的目标意图估计，更加接近目标的真实意图。

目前，对于 SOM 网络提取出的轨迹的特征的使用，仅仅利用最小二乘进行稳定的方向估计。后续的工作，可以围绕这些提取的特征展开，利用这些特征，对目标的一些特定机动进行识别（如俯冲，调头等），进而利用识别出的目标机动进行目标意图估计或者威胁估计。

参考文献

- [1] Steinberg A N, Bowman C L, White F E. Revisions to the JDL data fusion model[C]. *Aero Sense '99. International Society for Optics and Photonics*, 1999.
- [2] Rao N P, Kashyap S, Girija G. situation assessment in air-combat: a fuzzy-Bayesian hybrid approach[J]. *Communications & Radar*, 2008.
- [3] J Roy. From data fusion to situation analysis[J]. *Fourth International Conference on Information Fusion*, 2001.
- [4] Allouche M K. A pattern recognition approach to threat stabilization[J]. *DRDC Valcartier*, 2006.
- [5] Kohonen T. *Content-addressable memories*[M]. Second Edition. Springer Verlag, 1987.
- [6] Kohonen T. Learning vector quantization. *Neural Networks*[J]. *Wiji Uni*, 1988, 1:545 - 550.
- [7] Kohonen T. Logic Principles of Content-Addressable Memories[J]. Springer, 1980:125-189.

作者简介：

范瀚阳 (1990-), 男, 江苏南京, 南京航空航天大学硕士生, 研究方向: 雷达信号处理。

E-mail: hermitfan@163.com