

点目标自动识别

梁 民 孙仲康

(电子技术系)

摘 要 本文概述了远距离目标即点目标自动识别的技术方法,评述了与之有关的一些问题,并就其发展趋势提出了一些看法。

关键词 目标识别, 自动检测, 目标截获, 神经元

分类号 TN 959.17

目标识别问题的理论与技术研究,自 50 年代末以来,已经取得了突破性的进展,日益趋于成熟和完善。但这些理论与技术方法大都是研究近距离面目标的识别问题。随着航空技术的发展,电子战的加剧,防御系统的性能必须随之而进一步地改善。只具有单纯识别近距离面目标的功能是非常不够的,还必须具有能够识别远距离点目标的功能。

远距离点目标在其一帧图象中仅占 1 个或几个象元,呈现为点状,无形状与结构信息,所以现有的那些利用目标的形状与结构特征信息的近距离面目标识别方法无法解决远距离点目标的识别问题。因此探索与研究有关远距离点目标的自动识别的技术与方法,便是广大科技工作者所面临的一项十分重要和严峻的任务。

1 点目标自动识别的技术方法

1.1 低强度点目标的检测识别方法

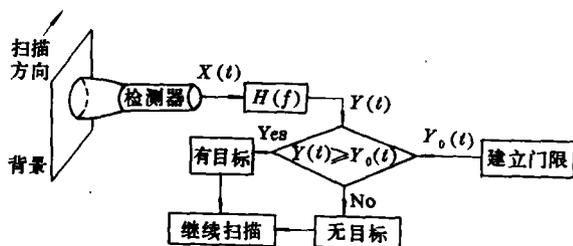


图 1

1990 年 9 月 10 日收稿

80年代初,美国海军实验室 R. A. Steinberg 博士^[1,2]在研究红外警戒系统问题中提出了一种高强度干扰背景中低强度点目标的检测识别方法。用这种方法构成的最佳接收机结构如图 1 所示。图中检测器的输出电流 $X(t)$ 作为电子滤波器 $H(f)$ 的输入,而滤波器的输出电流 $Y(t)$ 与门限电流 $Y_0(t)$ 比较,若 $Y(t) > Y_0(t)$ 则判有目标,否则判无目标。R. A. Steinberg 运用他在文献[1]中提出的统计模型给出 $Y(t)$ 的均值与均方差的估计值,由此构成的门限 $Y_0(t)$ 为:

$$Y_0(t) = \hat{m}_Y(t) + k\hat{\sigma}_Y(t) \quad (1)$$

由于 $Y_0(t)$ 自适应地跟踪背景的变化,从而使接收机具有较好性能。

这种方法尽管能够较好地检测判别出低强度点目标,但却难以给出点目标的确切位置与运动轨迹。为此, N. C. Mohanty^[3]提出了另一种方法,它能较好地检测出高强度干扰背景中低强度运动点目标,并能较精确地跟踪其运动路径。这种方法对由 CCD 传感器所获得的多帧图象按最大似然比原则构成一个充分统计量 Z , 和门限 T_h , 然后比较判别给出结果。在每帧图中,第 (i, j) 个单元在有若无点目标出现的两种情况下的输出分别为:

$$\begin{cases} H_1: V(i, j, k) = T(i, j, k) + S(i, j, k) \\ H_0: V(i, j, k) = S(i, j, k) \end{cases} \quad (2)$$

其中 $V(i, j, k)$ 为焦平面上第 (i, j) 个单元在 $i=k$ 时刻的输出; $S(i, j, k)$ 为均值与方差均未知的 Gauss 噪声; $T(i, j, k)$ 为点目标信号, 它由下式给出:

$$T(i, j, k) = \begin{cases} a(k), & i = m_1 k, j = m_2 k + m_3, 1 \leq k \leq N \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

这里 m_1, m_2, m_3 为未知整数。

由此可得其充分统计量 Z_j 为:

$$Z_j = [\bar{V} - \bar{S}]^T R_s^{-1} T_j, 1 \leq j \leq T \quad (4)$$

其中 $\bar{V}^{(i)} = [V_1^{(i)}, V_2^{(i)}, \dots, V_M^{(i)}]^T$, R_s 为样本噪声协方差阵。相应的判决门限为:

$$Th = \frac{1}{2} T_j^T R_s^{-1} T_j \quad (5)$$

用这种方法来检测出运动点目标的运动特性,据此进行有关点目标的识别工作。研究结果表明该方法具有较好的性能。

有效地检测识别强干扰背景中低强度运动点目标的另一技术方法是美国海军研究生院的 T. F. Tao 等人^[4]于 70 年代末提出的。他们的做法是:首先根据由红外灵敏传感器系统所获的一组图象序列中的每帧,计算其空间自协方差阵,据此设计一个 3×3 的空间滤波器阵列,用之对所获的图象序列进行空间滤波;再计算空间滤波后的图象序列的时间自协方差阵,用之设计一个时域滤波器,对空间滤波处理后的图象序列进行时域滤波,便可有效地检测识别出点目标。研究结果表明,采用这种时空混合处理的方法可以得到令人满意的结果。

1.2 多步电平处理技术

80年代初,美国学者 O. Firschein 等人^[5]采用阵处理器与邻近编码技术研究了背景干扰抑制与目标运动轨迹提取及识别问题。其基本思想是:首先把由红外传感器所获得的图象序列变为二值图象序列;其次将这一二值图象序列分为连续的几组,在每组中将图象作逻辑或迭加可以得到一帧迭加后的二值图象,用 3×3 象元窗按邻近编码技术对这一迭加后的二值图象中的每个象元筛选评分,可以得到一个计分图象;尔后用一门限将之变为一个新的二值图象。将每组经过这样处理后所得的二值图象组成一个新的图象序列;重复上述处理多次,便可消去杂波和噪声的影响而有效地提取点目标的运动轨迹。据此提取适当的运动特性参数进行目标识别。

1.3 基于目标运动路径连贯特性的点目标识别方法

最近,美国学者 I. K. Sethi 和 R. Jain^[6]运用目标运动路径连贯与平滑特性的思想,研究了一种有效地

提取点目标运动轨迹的新方法。其基本原理是：将一个图象序列 $\{F_i(x, y)\}_{i=1}^N$ 进行差分运算得到差分图象为：

$$D_{ik}(x, y) = F_{i+1}(x, y) - F_i(x, y) \quad (6)$$

选一适当的门限 T ，使得：

$$D_{ik}(x, y) = \begin{cases} 1 & D_{ik}(x, y) \geq T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

则可以检测出 $F_i(x, y)$ 中的点目标的位置。由于目标的运动轨迹是平滑的，设 T_i 代表图象序列中点 P_i 的轨迹， x_{ik} 代表 P_i 在第 k 帧图象中的坐标，那么 T_i 可表示为：

$$T_i = \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in} \rangle \quad (8)$$

定义第 k 帧图象中的点目标 P 的路径偏离 d_k^i 为

$$d_k^i = \Psi[\overline{x_{i(k-1)}, x_{ik}, x_{ik}, x_{i(k+1)}}] \quad (9)$$

其中 $\Psi(\cdot)$ 为路径连贯函数。

那么 T_i 的总偏离量 D_i 为

$$D_i = \sum_{k=2}^{N-1} d_k^i \quad (10)$$

如果 N 帧图象序列中有 m 个点目标，则存在着 m 个轨迹 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_m$ ，它们是满足使得下式取极小值的一组解，即：

$$D(T_1, T_2, \dots, T_m) = \min_{T_i} \left[\sum_{i=1}^m D_i \right] \quad (11)$$

基于这一原理，I. K. Sethi 等人提出了 GE 和 MGE 算法。研究结果表明，该算法的性能很好，且受背景干扰的影响甚小。从已提取出的轨迹中可以（经过某些处理）估计出一些特性参数（如速度、运动方向等），据此进行目标识别。

1.4 基于 Hough 变换技术的点目标识别方法

Hough 变换技术^[7]是 60 年代初提出的。然而借助于 Hough 变换技术来解决点目标的检测跟踪与识别问题却是近十几年内的事。70 年代末，G. C. Stockman 和 A. K. Agrawala^[8]研究了 Hough 检测与模板匹配等效性问题后，D. G. Falconer^[8]研究了采用 Hough 变换技术对作直线运动点目标进行检测跟踪与识别的问题，W. E. Snyder 和 S. A. Rajola^[9]则进一步将其推广，解决了每象元目标的截获跟踪与识别问题。

1978 年，美国学者 D. G. Falconer 博士采用 Hough 变换技术，解决了作直线运动的点目标轨迹的提取与状态参数的跟踪识别问题。其基本思想是：首先将一组序列图象分别进行 Hough 变换，然后将这一变换以某一适当的加权因子进行迭加，运动的每个点目标将在迭加后的 Hough 空间中各自产生一个 delta 函数。用

一适当的门限算子对 Hough 空间中每个象元进行扫描以便寻找 delta 函数出现的位置，而这一位置坐标即为原图象序列中点目标的运动轨迹参数。在 Hough 空间中借助于 Fourier 分析方法可以估计出点目标的运动特性参数和位置特性参数，据此进行跟踪与识别。

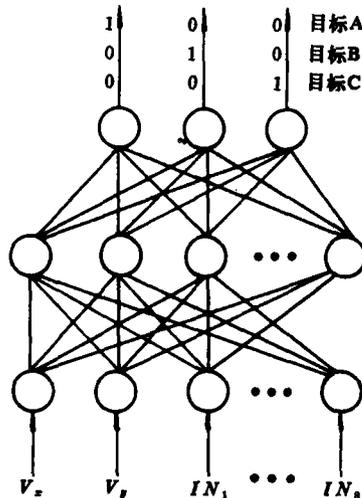


图 2

1.5 基于人工神经网络的点目标识别方法

近年来,人工神经网络的研究为人工智能、模式识别和信息处理的研究开辟一条新的技术途径。采用神经网络来进行模式识别和信息处理时有这样一些诱人的特点:由于采用分布式的存贮方式,它具有较好的容错和抗干扰(或噪声)能力;一个模式不是存放在某一固定地方,而是分布在整个网络,并由大量神经元构成一个激活模式来表示,因而当部分信息丢失时,不致对全局造成太大的影响。此外,它还具有自适应自学习能力,通过样本训练,根据周围环境不断地改变自己的网络。它不仅可以处理各种变化的信息,而且在处理信息的同时,其本身也在不断地变化。

神经网络研究已取得了一些突破性的进展,相继出现了许多有价值的模型^[11~17]。这些模型虽然在模式识别与信息处理领域中已经获得广泛的应用,但离其问题最后解决仍相距较远。因此需要继续探索和研究神经网络在模式识别与信息处理领域,特别是它在远距离点目标识别中应用的技术与方法。

笔者初步地探讨了应用神经网络来研究远距离点目标自动识别问题^[17],提出了一种点目标识别的新方法,这种方法由点目标图象序列预处理、点目标运动参数抽取以及神经网络分类三个步骤组成。图象序列预处理是由图象空间滤波与时域有序滤波两个过程构成,经预处理得到一帧受噪声或干扰影响少的轨迹图;对之进行 Hough 变换,可以求得有关点目标的运动参数(如速度与轨迹参数);应用声光可调谐滤波器(AOTF)可以获得有关点目标在六个固定波长点上的光谱线;将之与求得的点目标运动速度

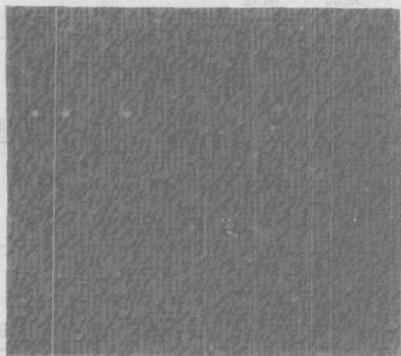


图 3

a frame of the noisy objet image sequence

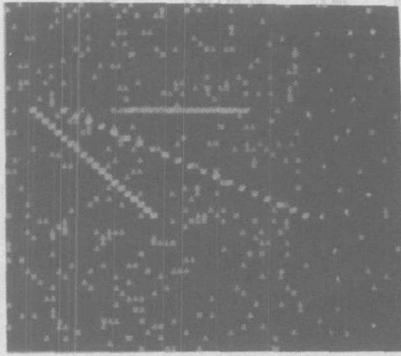


图 4

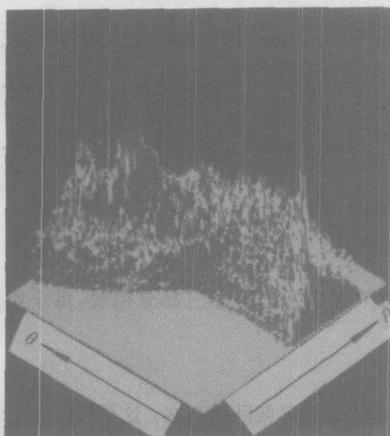


图 5

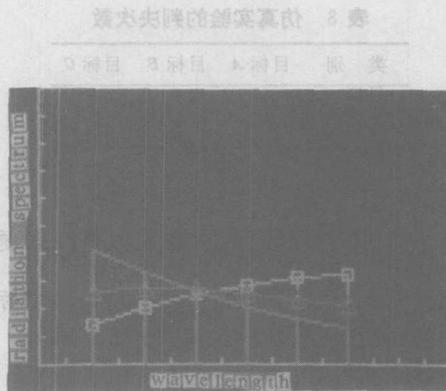


图 6

radiation spectrum of the three-class point objects,

□ — target A, △ — target B, --- target C

参数 V_x 和 V_y 作为特征参数输入到图 2 所示的神经网络, 进行分类识别。神经网络的学习算法是采用修正的反向传播算法 (MBP), 它比传统的反向传播算法 (BP) 的性能要好, 且收敛速度快。在 AST-286 机器上对上述的识别方法进行了仿真实验。图 3 为含噪声图象序列的其中一帧图, 它含有三个运动点目标。图 4 为图象序列经过预处理后形成的轨迹图, 对其进行 Hough 变换得 Hough 空间图如图 5 所示。从中求得轨迹与速度参数如表 1 和表 2 所示。

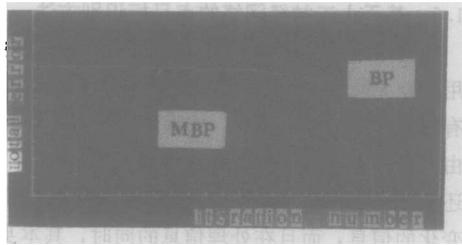


图 7

图 6 示出了三个目标在六个特定波长上的光谱特性, 将之与表 2 所给的速度参数一起用作训练集, 分别用 MBP 和 BP 算法对图 2 所示的网络进行训练, 相应的学习曲线如图 7 所示。表 3 为仿真实验的判决结果, 相应的识别率如表 4 所示。整个实验中的信噪比 (SNR) 为一指定指标。从表 4 可以看出基于神经网络的点目标识别方法的识别率很高, 且有良好的抗噪能力。

表 1 点目标运动的轨迹参数

类别	描述	极角(度)	极径
目标 A	实际的	0	20
	估计的	0	20
	误差	0	0
目标 B	实际的	135	-10.61
	估计的	132	-10
	误差	3	-0.61
目标 C	实际的	153.43	-13.5
	估计的	154	-14
	误差	-0.57	0.5

表 2 点目标运动的速度参数

类别	描述	速度(象元/帧)	
		X 轴向分量	Y 轴向分量
目标 A	实际的	0	1
	估计的	0	1.02
	误差	0	-0.02
目标 B	实际的	1	2
	估计的	1.05	2
	误差	-0.05	0
目标 C	实际的	1	1
	估计的	0.97	1.05
	误差	0.05	-0.05

表 3 仿真实验的判决次数

类别	目标 A	目标 B	目标 C
目标 A	19	1	0
目标 B	1	19	0
目标 C	0	0	20

表 4 识别率

类别	识别率
目标 A	95%
目标 B	95%
目标 C	100%

2 点目标自动识别系统中有关的研究课题

点目标自动识别系统由点目标检测器、点目标特征抽取器以及分类器三部分构成, 每个组成部分都有各自的任务和特点以及与之有关的研究课题。

2.1 点目标的检测

在进行点目标识别之前, 需要获悉所观察的区域环境中是否有点目标存在, 这便是点目标的检测任务。目前, 目标检测的技术方法有三种基本类型: 经典检测理论、非参数检测理论和 Robust 检测理论, 因此探索和研究新的点目标检测的理论与方法以及如何将现有的检测理论应用于点目标情况, 特别是高强度干扰背景中低强度点目标的检测, 则是一项十分重要的研究课题。

2.2 点目标特征参数的抽取

目标识别成败的关键在于抽取与形成的目标特征量是否有效。从现有的资料来看,抽取有关点目标有效特征参数的技术途径主要有三种方式:(1)提取点目标的运动状态参数和位置状态参数;(2)提取点目标的辐射(或散射)特性;(3)提取点目标能量强度的起伏统计特性。因此,继续探索和研究有关点目标新的有效特征参数抽取的物理技术途径以及与之相关的技术设备的研制,将是又一重要研究课题。

2.3 点目标特征的分类与识别

通过上述的物理途径来抽取关于点目标的有效特征参数,从而形成点目标的特征矢量,再运用模式识别的技术来设计一个最佳分类器以便将待识别的点目标最大限度地区分开来。当前,如何将人工智能技术应用到点目标识别中,采用专家系统、知识库系统、神经网络系统等方法来识别点目标,将是另一个十分重要的研究方面。

3. 结束语

点目标识别问题的研究是一项难度较大、有着重要战略应用价值的新课题,它的研究须从探讨阶段,逐步地转向应用化研制阶段。今后点目标识别系统的研究可能围绕以下几个方面展开:

- (1)继续探索研究新的点目标检测理论与技术,特别是高强度干扰背景中低强度点目标的检测方法。
- (2)建立符合实际目标与背景特征的数学模型。
- (3)继续探索寻找各种可资点目标识别的新的物理信息的途径以及获取这些物理信息的技术手段与设备的研制。
- (4)实用性点目标识别系统的研制和新的识别理论与方法的探讨。
- (5)在点目标识别问题中大力开展人工智能应用技术的研究,使点目标识别系统具有智能化性能。

参 考 文 献

- [1] Steinberg R A. *Infrared Surveillance 1, Statistical Model*. Applied Optics, 1980, 19(1)
- [2] Steinberg R A. *Infrared Surveillance 2, Continous-Time Signal Processors*, Applied Optics, 1980, 19(10)
- [3] Mohanty N C. *Computer Tracking of Moving Point Targets in Space*. IEEE, 1981, PAMI-3(5)
- [4] Tao T F, Hilmars D, Evenor B, & Yehoshus D B. *Focal Plan Processing Techniques for Background Clutter Suppression and Target Detection*. SPIE, 1979, 178
- [5] Firschein D, Rauch H E & Eppler W G. *Track Assembly and Background Suppression Using an Array Processor and Neighborhood Coding*. SPIE, 1980, 241
- [6] Sethi I K et al. *Finding Trajectories of Feature Points in Monocular Image Sequence*, IEEE 1987, PAMI9(1)
- [7] Hough P V. *Methods and Means for Recognizing Complex Patterns*. U. S. Pat. 3069654, Washington, D. C. 1962
- [8] Stockman G C & Agrawala A K. *Equivalence of Hough Curve Detection to Template Matching*. CACM. 1977, 20(11)
- [9] Snyder W E & Rajola S A. *Track Acquisition of Sub-Pixel Targets*. NATO ASI Series. 1983, F2
- [10] Falconer D G, *Target Tracking with Hough Transform*. IEEE International Conference, 1978
- [11] Hopfield J J. *Neural Network and Physical Systems with Emergent Computational Abilities*. Proc. Natl. Acad. Sci. 1982, 79
- [12] Hopfield J J & Tank D W. *Computing with Neural Circuits; A Model*. Science 233(4764). 1986
- [13] Ackey D H, Hinton G E, & Sejono T Jwski. *A Learning Algorithm for Boltzmann Machines*. Cognitive Science 1985, 19
- [14] Rumelhart D B et al. *Learning Internal Representations by Error Propagation*. In PDP Vol. 1, MIT Press. 1986

- [15] Grossberg S. *The Adaptive Brain I: Cognition Learning, Reinforcement, and Rhythm; and The Adaptive Brain Vision. Speech and Motor Control.* Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 1986
- [16] Kohonen T. *Self-Organization and Associative Memory.* Springer-Verlag, Berlin 1984
- [17] Liang Min & Sun Zhongkang. *A Method for Moving Point Target Recognition Based on Noisy Image Secvevce.* NAECON, 1990

Automatic Recognition of the Point Target

Liang Min Sun Zhongkang

(Department of Electronic Technology)

中国主要科学技术期刊 (航空航天类)

编者按: 中国科学技术情报研究所受国家科委委托, 对我国科学技术论文, 在数量和质量两方面进行统计分析, 最后按地区和单位排序。论文统计分析的结果基本上反映了一个地区和单位的科技实力和水平。现在我们把作为统计信息源的国内 1227 种主要科技期刊中与我校学科有关的部分, 陆续刊出, 以供全校教师、技术人员和研究生投稿选择之用。

期刊名	邮政编码	通讯地址
1. 航空学报	100083	北京学院路 8 号
2. 航空动力学报	100083	(同上)
3. 空气动力学报	621000	四川绵阳市 211 信箱
4. 气动实验与测量控制	621000	(同上)
5. 材料工程	100095	北京市 81 信箱 62 分箱
6. 航空工艺技术	100024	北京市 340 信箱
7. 宇航学报	100830	北京市 838 信箱
8. 推进技术	100074	北京市 7208 信箱 26 分箱
9. 强度与环境	100076	北京市 9200 信箱 72 分箱
10. 中国空间科学技术	100081	北京市 2417 信箱 48 分箱
11. 航天控制	100854	北京市 142 信箱 402 分箱
13. 复合材料学报	100083	北京市学院路 37 号
14. 北京航空航天大学学报	100083	北京市学院路 37 号
15. 西北工业大学学报	710072	西安市
16. 南京航空学院学报	210016	南京市御道街 29 号
17. 国防科技大学学报	410073	长沙市德雅村
18. 南昌航空工业学院学报	330034	南昌市上海路 7 号
19. 中国民航学院学报	300300	天津市张贵庄机场