

用极化信息实现雷达目标的分类与识别

鞠智芹¹, 廖广建¹, 逯久山²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 93861 部队, 陕西 三原 713800)

摘要:利用极化信息,提取表征雷达目标的五个特征参数,并给出了这五个特征参数的显式表达式。运用BP神经网络技术,对选定雷达目标进行学习并分类计算。计算机模拟结果表明,这种利用极化信息和BP神经网络技术对雷达目标进行分类和识别的方法是可行的。

关键词:极化信息;BP神经网络;目标分类与识别

中图分类号:TN957.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0059-03

极化是雷达波形参数中的重要参数之一。比较而言,以前对极化信息的研究与利用重视不够。雷达目标回波中的极化信息包含着雷达目标的外观结构特征信息。仔细地研究这些信息,构造一个雷达目标结构参数的多维特征空间,应用合适的分类与识别技术于这个特征空间,就可以实现雷达目标的分类与识别。

利用极化信息对雷达目标进行分类和识别的算法有两类:第一类算法和目标以及传感器—收发天线的极化相关,即测量雷达目标在不同观察角下、不同的收发天线极化情况下的RCS;另一类算法和收发天线极化无关,而只与目标有关,即测量雷达目标在不同观察角下的散射矩阵S或等效地测量雷达极化功率散射矩阵M。本文所研究的识别算法属第二种算法。从J. R. Huynen理论出发,推导出表示雷达目标结构特征的五个参数的显式表达式,并应用BP神经网络实现对雷达目标的分类和识别。

1 雷达目标结构参数

对雷达波和目标相互作用全面的描述可用极化散射矩阵给出。

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{VH} \\ S_{HV} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对一个雷达目标来说,如果S矩阵内所有元素都给定,在此观察角下的电磁散射特性就完全描述清楚了。尽管测定矩阵中各元素需要用到收/发天线的几个不同极化组合,但散射矩阵中各元素与收/发天线的极化无关,而只与雷达目标的尺寸、形状、材料以及雷达波对目标的观察角有关。

根据Huynen的理论,雷达目标结构可由五个结构参数 m, Ψ, τ, v, γ 来表示^[1]。S矩阵由 m, Ψ, τ, v, γ 表示为

$$S = US_dU^+ = \begin{bmatrix} \cos\Psi & -\sin\Psi \\ \sin\Psi & \cos\Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\tau & -j\sin\tau \\ -j\sin\tau & \cos\tau \end{bmatrix} \begin{bmatrix} me^{j2v} & 0 \\ 0 & m\tan^2\gamma e^{-j2v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\tau & -j\sin\tau \\ -j\sin\tau & \cos\tau \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\Psi & \sin\Psi \\ \sin\Psi & \cos\Psi \end{bmatrix} \quad (2)$$

设 $\vec{a}(\varphi_A, \tau_A)$ 和 $\vec{b}(\varphi_B, \tau_B)$ 是分别用Jones矢量表示的雷达发射天线的极化和接收天线的极化。雷达接收天线所接收的目标后向散射功率为:

$$P = |V|^2 = | [S(m, \Psi, \tau, v, \gamma) \vec{a}(\varphi_A, \tau_A)]^T \vec{b}(\varphi_B, \tau_B) |^2 = \left\{ \begin{bmatrix} A_0 + B_0 & F & C_\Psi & H_\Psi \\ F & -A_0 + B_0 & G_\Psi & D_\Psi \\ C_\Psi & G_\Psi & A_0 + B_\Psi & E_\Psi \\ H_\Psi & D_\Psi & E_\Psi & A_0 - B_\Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \sin 2\tau_A \\ \cos 2\tau_A \cos 2\varphi_A \\ \cos 2\tau_A \sin 2\varphi_A \end{bmatrix} \right\}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \sin 2\tau_B \\ \cos 2\tau_B \cos 2\varphi_B \\ \cos 2\tau_B \sin 2\varphi_B \end{bmatrix} \quad (3)$$

收稿日期:2000-05-12

作者简介:鞠智芹(1962-),男,山东安丘人,副教授,博士生,主要从事微波数值计算及雷达目标识别研究。

上式可简写为

$$P = (M \vec{g})^T \cdot \vec{h} \quad (4)$$

M 矩阵中九个参数 $A_0, C_\Psi, D_\Psi, G_\Psi, H_\Psi, B_0, B_\Psi, E_\Psi, F$ 只有前五个参数是独立的^[2~3], 后四个参数可以由前五个参数表示, 如(6)式所示。

由(2)、(3)式, 本文推导出雷达目标的五个结构特征参数 m, Ψ, τ, v, γ 的显式表达式:

$$\left. \begin{aligned} \Psi &= \frac{1}{2} \arctan \frac{H_\Psi}{C_\Psi} \\ C &= H_\Psi \sin 2\Psi + C_\Psi \cos 2\Psi & G &= G_\Psi \cos 2\Psi + D_\Psi \sin 2\Psi \\ D &= D_\Psi \cos 2\Psi - G_\Psi \sin 2\Psi & E &= E_\Psi \cos 4\Psi - B_\Psi \sin 4\Psi \\ B &= E_\Psi \sin 4\Psi + B_\Psi \cos 4\Psi & \tau &= \frac{1}{4} \arctan \frac{E}{C} - \frac{1}{4} \arctan \frac{E}{D} \\ V &= \frac{A_0 + B_0}{C \cos 2\tau + F \sin 2\tau} & \gamma &= \frac{1}{2} \arccos(V - \sqrt{V^2 - 1}) \\ Q &= A_0 + B_0 - \frac{1}{2} (C \cos 2\tau + F \sin 2\tau) \cos 2\gamma \\ v &= \frac{1}{4} \arcsin \frac{2(D \cos 2\tau - E \sin 2\tau)}{2Q - (C \cos 2\tau + F \sin 2\tau) \cos 2\tau} \\ m &= 2 \cos^2 \gamma \sqrt{2Q} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

雷达目标分类与识别的步骤如下:

1) 给定至少五组收发天线极化的 Stokes 矢量 \vec{g}_i 和 \vec{h}_i 的组合, 分别测得 $P_i (i=1, 2, \dots, 5)$, 由(3)式及参数 $A_0, C_\Psi, D_\Psi, G_\Psi, H_\Psi, B_0, B_\Psi, E_\Psi, F$ 的四个关系方程:

$$\left. \begin{aligned} 2A_0(B_0 + B_\Psi) &= C_\Psi^2 + D_\Psi^2 \\ 2A_0(B_0 - B_\Psi) &= C_\Psi^2 + H_\Psi^2 \\ 2A_0E_\Psi &= C_\Psi H_\Psi - D_\Psi G_\Psi \\ 2A_0F &= C_\Psi G_\Psi + D_\Psi H_\Psi \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

可求得 M 矩阵各元素 $A_0, C_\Psi, D_\Psi, G_\Psi, H_\Psi, B_0, B_\Psi, E_\Psi, F$ 。

2) 由推得的 m, Ψ, τ, v, γ 的显式表达式(5)可求得雷达目标的五个结构参数 m, Ψ, τ, v, γ 。

3) 由所得的雷达目标结构参数 m, Ψ, τ, v, γ , 利用合适的算法可对雷达目标进行分类和识别。

BP 网络是目前最成熟的神经网络之一, 可用于雷达目标的分类与识别。

2 用 BP 神经网络对雷达目标进行分类和识别

采用 BP (Back Propagation) 神经网络模型作为雷达目标分类器。BP 网络由一个输入层、一个或多个隐含层以及一个输出层构成。根据极化目标识别的要求, 我们采用三层 BP 网络模型, 输入层节点数为 5, 中间隐含层节点数为 3, 输出层节点数为 1, 如图 1 所示。

当隐单元 j 与输入单元 i 连接的权值为 v_{ij} 时, 则隐单元输出为

$$h_j = f(\beta_j) = f\left(\sum_{i=1}^5 v_{ij} x_i\right) \quad (7)$$

输出层只有一个神经元, 当输出单元与隐单元 j 连接权值为 w_j 时, 则输出单元输出为

$$y = f(\alpha) = f\left(\sum_{j=1}^3 w_j h_j\right) \quad (8)$$

$f(x)$ 取 Sigmoid 函数, 即

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (9)$$

在训练阶段使用反向传递 (Back propagation) 学习算法。为了避免陷入局部最小点, 采用如下技术加以改进:

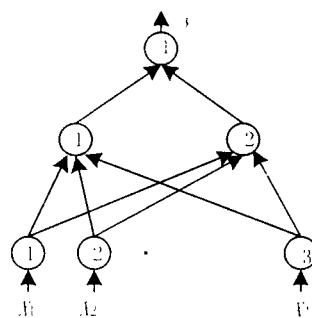


图 1 BP 神经网络模型

1) 模拟退火思想

对隐层和输出层选用如下处理函数

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{\frac{x}{T}}} \quad (10)$$

当网络陷入局部最小点时,增大“温度” T ,使之跳出局部最小点;当网络处于收敛过程中,适当降低“温度” T ,加速网络收敛速度。

2) 对权值调整,增加惯性项

选用典型简单雷达目标作为训练样本,训练结束条件为均方误差小于 2%。经过 BP 网络学习后,对各雷达目标的分类情况如表 1 所示。

3 结论

本文应用雷达目标极化信息,推导出表征雷达目标结构的五个特征参数的显式表达式,应用 BP 网络成功地实现了对简单雷达目标的分类和识别。只要提供足够多的雷达目标训练样本,利用本文介绍的方法,一定能有效地实现对实际雷达目标的分类和识别

表 1 各种雷达目标分类识别结果

类别	m	Ψ	γ	ν	τ	理想输出值	实际值
导体球 1	1	90°	45°	0°	0°	0.9	0.828 8
导体球 2	0.5	45°	45°	0°	0°	0.9	0.838 1
导体球 3	0.1	0°	45°	0°	0°	0.9	0.876 5
导体十字 1	1	90°	45°	45°	0°	0.6	0.565 1
导体十字 2	0.5	45°	45°	45°	0°	0.6	0.580 8
导体十字 3	0.1	0°	45°	45°	0°	0.6	0.582 6
长导体 1	1	90°	0°	45°	0°	0.3	0.304 0
长导体 2	0.5	45°	0°	45°	0°	0.3	0.304 8
长导体 3	0.1	0°	0°	0°	0°	0.3	0.3 08 9

参考文献:

- [1] Huynen J. R Phenomenological Theory of Radar Targets[M]. New York:Academic Press, Inc. 1978.
 [2] 胡守仁. 神经网络导论[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1993.
 [3] 焦李成. 神经网络的应用与实现[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1993.

Classifying and identifying radar targets by polarization information

JU Zhi-qin, LIAO Guang-jian¹, LU Jiu-shan²

(1. The Missile Institute AFEU., Sanyuan 713800, China;

2. Unit 93861 of the People's liberation Army, Sanyuan 713800, China)

Abstract. We use polarization information to classify and identify radar targets. The five characteristic parameters describing radar targets are picked up. The characteristic parameter formulations are given. Using BP neural network, classifying and identifying radar targets are achieved.

Key words: polarization; BP neural network; radar targets classification and identification