

坦克目标 8mm 波段信号探测及目标识别技术

张彦梅, 赵治贝

(北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081)

摘要:研究了坦克装甲目标的毫米波探测识别技术. 在比较坦克与主要干扰之间毫米波辐射特性差异的基础上, 采用模糊识别方法, 以提高识别概率; 讨论了毫米波识别中特征参量的选择, 提取了 109 组试验数据的特征参量并对其特征参量矩阵进行数据规格化及加权调整; 给出了隶属度函数, 计算了试验数据相对于坦克的隶属度. 通过分析坦克与干扰的隶属度分布直方图给出了探测概率、虚警率与隶属度门限的关系曲线.

关键词:毫米波探测; 目标特性; 模糊识别; 特征提取

中图分类号:TJ434 文献标识码:A

TECHNIQUES OF 8mm WAVE BAND SIGNAL DETECTION AND IDENTIFICATION FOR TANK

ZHANG Yan-Mei, ZHAO Zhi-Bei

(School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The techniques of millimeter wave (MMW) detection and identification for armor target were studied. By comparing the differences of MMW radiation characteristics between the target and major interferences, a fuzzy recognition method was adopted to improve identification probability. The problem of how to choose characteristic parameters was discussed for identification, and several characteristic parameters from 109 groups of experimental data were extracted. The matrix standardization of characteristic parameters was made and the characteristic parameters were weighted. A membership function was given. The memberships of all groups of experimental data relatively to target were calculated. The relationship curves among detection probability, false alarm probability and the threshold of membership are established by analyzing the histogram of membership for tank and interferences.

Key words: millimeter wave detection; target characteristic; fuzzy identification; feature extraction

引言

毫米波探测技术应用前景十分广阔^[1], 被动毫米波探测根据目标本身的毫米波特性进行识别. 由于坦克与某些干扰具有相似的毫米波辐射特性, 为有效区分目标, 本文在毫米波探测的基础上, 采用模糊识别方法, 旨在提高目标识别概率.

1 坦克与主要干扰的毫米波辐射特性

根据普朗克定律, 一切高于绝对温度零点的物体都要对外辐射电磁波. 毫米波辐射测量通过高灵敏度的辐射计, 接收物体发射电磁波谱中的毫米波热辐射能量来探测物体, 进行目标识别^[2].

战场上, 各种背景与干扰错综复杂, 目标识别的关键就在于将坦克从复杂的背景环境中识别出来. 本文所进行的目标毫米波特性测试是目标和背景的毫米波辐射特性建模的前期工作, 为辐射特性模型提供基本数据.

测试中, 毫米波辐射计分别以相同速率飞越坦克和主要干扰物(水面、大小金属板), 测试背景均为草地. 为模拟实际弹目交会条件, 试验中, 使辐射计处于不同倾角(30°、45°、60°、90°)、不同高度(距离坦克顶甲分别 1.0m、1.2m、1.3m、1.4m、1.5m), 某型号坦克以不同方位(坦克纵向中心线、中心线左右各 1m)按正反两个方向从辐射计下通过. 全功率毫米波辐射计的输出信号为背景与目标(包括干扰物)的温度差异, 因此, 测试中, 辐射计输出信号

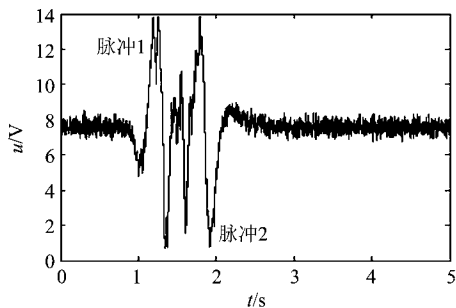


图1 坦克的毫米波辐射曲线
Fig.1 MMW radiation curve of tank

均出现2个主要脉冲,前一脉冲为辐射计波束从背景进入目标、后一脉冲为波束离开目标进入背景时的辐射计输出信号。脉冲的幅度与目标(干扰物)和背景的毫米波辐射率差异成正比,脉冲间距与目标尺寸大小成正比,2个主要脉冲间的信号则与目标自身形状及材料特性有关。

1.1 坦克装甲目标的毫米波辐射特性

坦克的毫米波辐射特性如图1所示,两个主要脉冲分别为脉冲1和脉冲2。坦克上部诸如炮塔等凸起物的存在,使得其表面凹凸不平,因此两脉冲之间的波形出现许多抖动^[3]。

在大量目标特性试验的基础上,比较多组曲线可发现坦克的毫米波辐射特性曲线具有一定的规律,例如,两个脉冲幅度分别为,脉冲1为正脉冲6V,脉冲2为负脉冲7V,间距0.7~0.8s,两个脉冲间大约有3~4个正脉冲,2个负脉冲。

1.2 水面的毫米波辐射特性

水与地面的辐射差接近金属与地面的毫米波特性差异^[4],图2为水面的毫米波特性曲线,一般情况下水面会有波纹,因此在两个脉冲之间会有波动。仅根据脉冲1、2难以区分水面与坦克,可利用两脉冲的间隔信息加以区分。例如,图2中两个脉冲幅度分别为,脉冲1为正脉冲5V,脉冲2为负脉冲4.5V,间距1s,两个脉冲间主要大约有7~8个正脉冲,5~6个负脉冲。

1.3 金属板的毫米波辐射特性

图3、图4分别为大于坦克、小于坦克的两块金属板的毫米波特性曲线。由于金属板和坦克同为金属材料,因此,金属板测试波形的两个脉冲幅度与坦克波形接近,但相对而言,金属板比较平滑,两脉冲之间的波形比较平坦,波动很小。此外,对于不同的测试对象,两个脉冲间隔不同,大金属板的脉冲间隔最大、坦克居中、小金属板的脉冲间隔最小。可见,仅

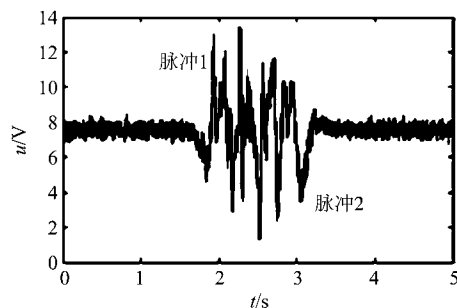


图2 水面的毫米波辐射曲线
Fig.2 MMW radiation curve of water

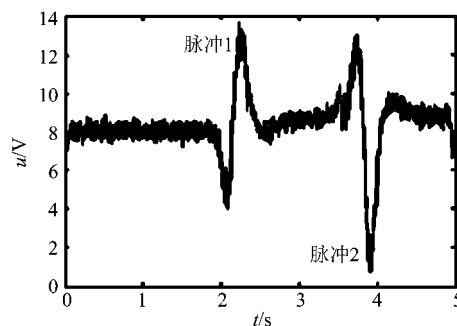


图3 大金属板的毫米波辐射曲线
Fig.3 MMW radiation curve of big iron plate

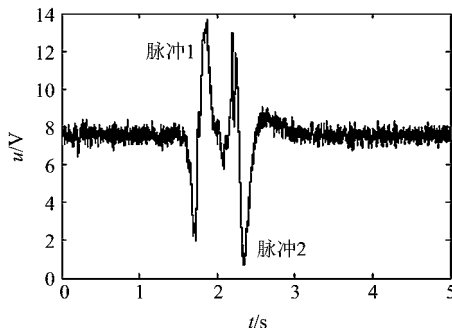


图4 小金属板的毫米波辐射曲线
Fig.4 MMW radiation curve of small iron plate

从两个脉冲的幅度特征出发很难准确识别坦克目标,还必须充分利用两个脉冲的间隔信息。

2 坦克装甲目标识别方法研究

本文利用模糊数学对不确定性目标的归属划分上具备的优势^[5],针对一些不存在十分严格的边界的集合,对其隶属关系加以扩充,使得某元素对该集合的隶属关系可以取闭区间 $[0, 1]$ 内的任一数值,该数值称为元素对集合的隶属度^[6]。通过对坦克毫米波特性参数的特征提取,采用信号幅度、脉宽、脉冲间隔等信息建立隶属度函数,然后计算各组

数据对于坦克的隶属度,通过对隶属度数值的判别,区分坦克和干扰。

2.1 特征参量的选择与提取

本文选取脉冲 1、2 的幅度和宽度、两个脉冲的间隔信息共 5 个参数作为特征参量。

对坦克、小金属板、大金属板及水面分别进行的 91 次、4 次、4 次及 10 次试验,得到了一个 109×5 阶的特征参量矩阵,如式(1)所示:

$$T = \begin{bmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & \Lambda & t_{1,5} \\ t_{2,1} & t_{2,2} & \Lambda & t_{2,5} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ t_{109,1} & t_{109,2} & \Lambda & t_{109,5} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中 t_{ij} 表示第 i 组数据的第 j 个特征参量, $t_1 \sim t_{91}$ 、 $t_{92} \sim t_{95}$ 、 $t_{98} \sim t_{99}$ 、 $t_{100} \sim t_{109}$ 分别为坦克、小金属板、大金属板、水面的特征参量,矩阵中各列依次为脉冲 1 的幅度、脉冲 2 的幅度、脉冲 1 的宽度、脉冲 2 的宽度、两个脉冲的间隔信息。

2.2 数据规格化

目标的 5 个特征参量其数量级不完全相同,数据规格化消除了不同数量级的特征参量对 Euclid 距离的影响差别^[7]。本文采用最大值对数规格化法,首先对待识别目标特征参量矩阵 T 的第 j 列进行如下计算:

$$M_j = \max(t_{1,j}, t_{2,j}, t_{3,j}, \Lambda, t_{n,j}); j = 1, 2, \dots, 5. \quad (2)$$

式中 M_j 为第 j 组特征参量的最大值,再对矩阵 T 的元素 t_{ij} 作如下变换:

$$t'_{ij} = -\log \frac{t_{ij}}{M_j}; i = 1, 2, \dots, 5. \quad (3)$$

得到新的特征参量矩阵:

$$T' = \begin{bmatrix} t'_{1,1} & t'_{1,2} & \Lambda & t'_{1,5} \\ t'_{2,1} & t'_{2,2} & \Lambda & t'_{2,5} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ t'_{109,1} & t'_{109,2} & \Lambda & t'_{109,5} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

则该矩阵中各特征参量的数量级基本一致。

2.3 坦克和两类干扰的各特征参量平均值

设 \bar{t}'_j 、 \bar{d}'_j 、 \bar{d}''_j 、 \bar{d}'''_j 分别为坦克、小金属板、大金属板、水面的第 j 组特征参量平均值,

$$\bar{t}'_j = \frac{1}{91} \sum_{i=1}^{91} t'_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, 5. \quad (5)$$

$$\bar{d}'_j = \frac{1}{4} \sum_{i=92}^{95} t'_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, 5. \quad (6)$$

$$\bar{d}''_j = \frac{1}{4} \sum_{i=96}^{99} t'_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, 5. \quad (7)$$

$$\bar{d}'''_j = \frac{1}{10} \sum_{i=100}^{109} t'_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, 5. \quad (8)$$

2.4 待识别目标与样本的改进型 Euclid 距离

目标的各特征参量重要程度不同,为取得更好的识别效果,在计算 Euclid 距离时对较为重要的特征参量,如脉冲 1、2 的脉宽和两脉冲间隔进行了加权^[8],对脉冲 1、2 的加权系数为 2,对两脉冲间隔的加权系数为 4,则待识别目标与坦克特征参量均值的 Euclid 距离计算公式为:

$$D_0(t', \bar{t}') = \left\{ \frac{1}{2} \left[\sum_{j=1}^2 (t'_{ij} - \bar{t}'_j)^2 + 2 \sum_{j=3}^4 (t'_{ij} - \bar{t}'_j)^2 + 4(t'_{i5} - \bar{t}'_5)^2 \right] \right\}. \quad (9)$$

将式(9)中 \bar{t}'_j ($j = 1, 2, \dots, 5$) 换成 \bar{d}''_j ($n = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 5$), 得到待识别目标与两类干扰特征参量均值的 Euclid 距离公式:

$$D_0(t', \bar{d}''_j) = \left\{ \frac{1}{2} \left[\sum_{j=1}^2 (t'_{ij} - \bar{d}''_j)^2 + 2 \sum_{j=3}^4 (t'_{ij} - \bar{d}''_j)^2 + 4(t'_{i5} - \bar{d}''_j)^2 \right] \right\}; \quad n = 1, 2, 3. \quad (10)$$

2.5 定义隶属度函数

令 $D = D_0 + D_1 + D_2 + D_3$, 定义相对于坦克的隶属度函数:

$$A(t) = 1 - \frac{D_0}{D} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{D_0 + D_1 + D_2 + D_3}. \quad (11)$$

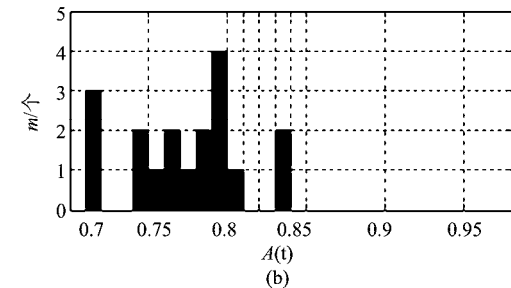
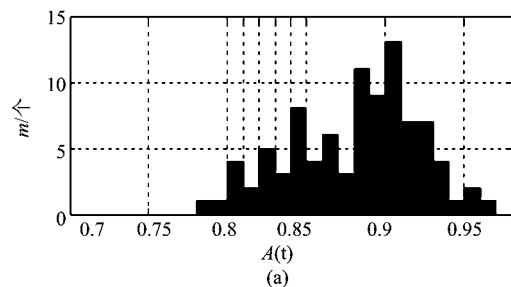


图 5 隶属度分布直方图(a)坦克 (b) 干扰物
Fig. 5 Histogram of the membership (a) Tank (b) Interferences

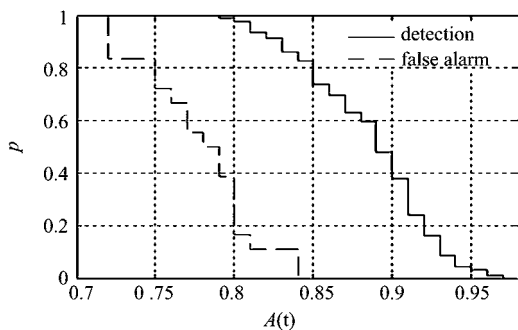


图6 探测概率、虚警率与隶属度门限的关系曲线
Fig.6 The relationship curves among detection probability, false alarm probability and the threshold of membership

2.6 识别结果

将试验数据代入隶属度函数得到该数据对于坦克的隶属度,根据隶属度大小判别是否为坦克,本文对109组数据的识别效果进行了验证.图5中(a)图为91组坦克数据的隶属度分布直方图,(b)图为18组干扰的隶属度分布直方图,图5中纵坐标为频数.可见多数坦克的隶属度大于0.8,而干扰的隶属度则一般小于0.8.因此,选择合适的隶属度门限可得到较理想的探测概率和虚警率.图6为探测概率、虚警率与隶属度门限的关系曲线.

3 结语

为了实现对装甲目标的精确打击,本文对坦克的毫米波探测识别方法进行了探讨.该方法首先对坦克的毫米波试验数据进行处理和分析,确定特征参量,在此基础上提取各组数据的特征参量.在计算隶属度时,对特征参量矩阵进行数据规格化处理,使得数量级较大的特征参量与数量级较小的特征参量的影响基本一致.出于实际考虑,计算过程中对较重要的特征参量进行了加权,扩大它们对计算结果的影响.仿真结果表明该目标识别方法是合理可行的.

REFERENCES

- [1] ZHANG Guang-Feng, LI Xing-Guo, LOU Guo-Wei. Research on passive mmw imaging based on an alternating current radiometer[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张光锋,李兴国,娄国伟.基于交流辐射计的被动毫米波成像研究. *红外与毫米波学报*),2007,26(6):461—464.
- [2] SHI Xiang, LOU Guo-Wei, LI Xing-Guo, et al. Modelling and calculating of millimeter wave radiant temperature for armored target[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (时翔,娄国伟,李兴国,等.装甲目标毫米波辐射温度的建模与计算. *红外与毫米波学报*),2007,26(1):43—46.
- [3] ZHANG Yan-Mei. Study on the technique of passive millimeter wave detector[J]. *Journal of Beijing institute of technology*,2005,14(4):391—395.
- [4] ZHANG Guang-Feng, ZHANG Zu-Yin, Guo Wei. Equivalent radiometric section coefficient of metal solid objects[C]. *2004 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings*,2004,945—947.
- [5] Radu C, Wilkerson R. Using fuzzy set theory[J]. *Potentials*,1995,14(5):33—35.
- [6] Zadeh LA. Fuzzy sets [J]. *Information and contro*,1965,1(8):338—353.
- [7] ZHUANG Heng-Yan, SHEN Xin-Ping, LU Jian-Fei, et al. Theoretical analyses of the computing method of fuzzy cluster[J]. *Journal of Jiansu agricultural college* (庄恒扬,沈新平,陆建飞,等.模糊聚类计算方法的理论分析. *江苏农学院学报*),1998,19(3):37—41.
- [8] GUO Gui-Rong. *Fuzzy pattern recognition*[M]. Changsha: National university of defense technology press (郭桂蓉.模糊模式识别.长沙:国防科技大学出版社),1993,106—110.