

文章编号: 1672-8785(2015)10-0005-04

基于被动毫米波的运动目标探测技术

庞龙飞 徐建军 李世中

(中北大学机电工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对被动毫米波技术对高速运动目标探测能力不足的问题, 采用基于单片微波集成电路 (Monolithic Microwave Integrated Circuit, MMIC) 的直接检波式毫米波辐射计构建了一种被动毫米波探测系统, 并通过试验获得了不同条件下对高速运动目标的实测数据。在对测试信号的特征进行分析的基础上, 指出第一脉冲的峰值和两个峰值脉冲的间距能够反映目标运动特性的有效特征, 并提出了一种用于计算目标运动速度的方法。结果表明, 该方法具有一定的精度, 可在被动毫米波系统中用于确定运动目标的参数。

关键词: 被动毫米波技术; 毫米波辐射计; 运动目标探测; 测试信号特征分析; 运动速度

中图分类号: TN06 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.10.002

Moving Object Detection Technology Based on Passive Millimeter Wave

PANG Long-fei, XU Jian-jun, LI Shi-zhong

(School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To solve the problem that the passive millimeter wave technology has not enough capability to detect high-speed moving targets, a passive millimeter wave detection system is built by using a direct detection millimeter wave radiometer based on a Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC). The data of a high-speed moving target are measured under different conditions in experiment. On the basis of the analysis of the characteristics of the test signals, it is pointed out that the peak of the first pulse and the spacing between two pulse peaks can reflect the effective motion characteristics of the target. A method for calculating the motion speed of the target is proposed. The results show that the method has a certain precision and can be used in the passive millimeter wave detection system to determine the parameters of the moving target.

Key words: passive millimeter wave technology; radiometer; moving target detection; characteristics of test signal; velocity

0 引言

作为微波向高频、光波向低频的延伸部分, 毫米波技术已经成为了一门知识密集的综合性的学科技术, 并在通信、雷达、制导、遥感、射电

天文和临床医学等方面得到了广泛应用。而在军事领域, 基于毫米波的目标探测与识别技术也是一个非常重要的研究方向^[1]。由于毫米波的波长小于微波, 在相同的天线尺寸下可以获得更窄的波瓣宽度, 因此可提供较高的角分辨

收稿日期: 2015-09-15

作者简介: 庞龙飞 (1990-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事目标探测与识别以及引信技术等方面的研究。E-mail: plfloveu@126.com

<http://journal.sitp.ac.cn/hw>

INFRARED (MONTHLY)/VOL.36, No.10, OCT 2015

率;另外,由于毫米波的波长大于红外光,其在云、雨等大气窗口下的衰减效应远弱于红外光,因而具有全天候工作的优势^[2]。毫米波目标探测技术有主动毫米波和被动毫米波两种机制。其中,主动毫米波主要用于对远距离运动目标进行探测,而且在距离、方位和速度分辨率等方面具有优异性能,但在近距离工作时容易产生目标闪烁效应;而被动毫米波则具有工作频带宽、隐蔽性好以及无目标闪烁等特点,相对主动毫米波而言在近距离探测时有着明显优势^[3]。

目前,被动毫米波主要用于对静止或缓慢移动的目标进行探测和识别,其典型应用譬如用于攻击坦克顶装甲的末敏弹探测系统,但在探测高速运动目标方面还需作进一步探索^[4]。

本文采用基于 MMIC 的直接检波式毫米波辐射计,通过对实测信号的特征进行分析来研究基于被动毫米波探测高速运动目标的方法,以便为巡航导弹、武装直升机等低空目标的战场侦察和防御提供技术途径。

1 被动毫米波探测原理

MMIC 是一种在半绝缘半导体衬底上采用一系列半导体工艺方法制造出无源和有源元器件,并将其连接起来构成应用于微波(甚至于毫米波)频段的功能电路。该电路具有体积小、噪声低、功耗小、频带宽、动态范围大以及抗电磁辐射能力强等特点。图 1 为基于 MMIC 的被动毫米波探测系统的工作原理图。

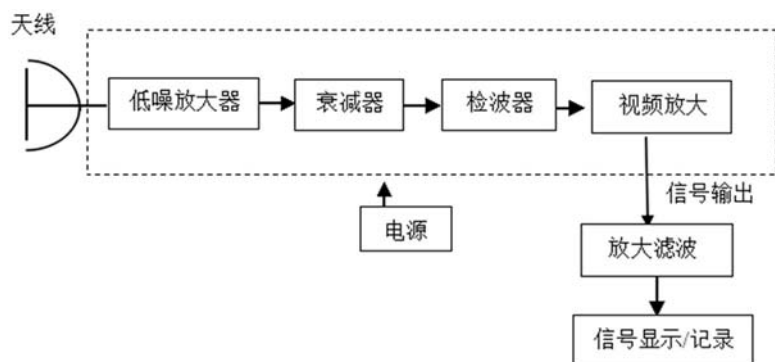


图 1 被动毫米波探测系统的原理图

毫米波辐射计工作于直接检波式交流体制,其工作频率为 35 GHz,即工作波长为 8 mm。该毫米波辐射计采用 MMIC 直接检波式原理,主要由天线、低噪声放大器、衰减器、检波器和视频放大器等几部分组成。其中,天线用于接收观测场景的毫米波辐射信号。该信号先经低噪声放大器放大,然后通过适度衰减被输入检波器。高灵敏度检波器可以检出低频电压信号,并将其传输给视频放大器进行信号放大。此时,放大后的输出信号即为毫米波辐射计的观测信号。上述直接检波式毫米波辐射计的输出信号是与目标辐射特性有关的低频信号,但仍然比较微弱,并伴有一定的高频干扰,因此需要对其进行进一步的放大和滤波处理,只有这样才能构成具有实际意义的探测系统^[5]。

2 测试试验及结果

被动毫米波探测系统的测试试验选择在高速公路上进行,其高度为 1.3 m,探测方向与高速公路的主车道垂直布置。图 2 所示为本次测试的现场环境。



图 2 测试现场

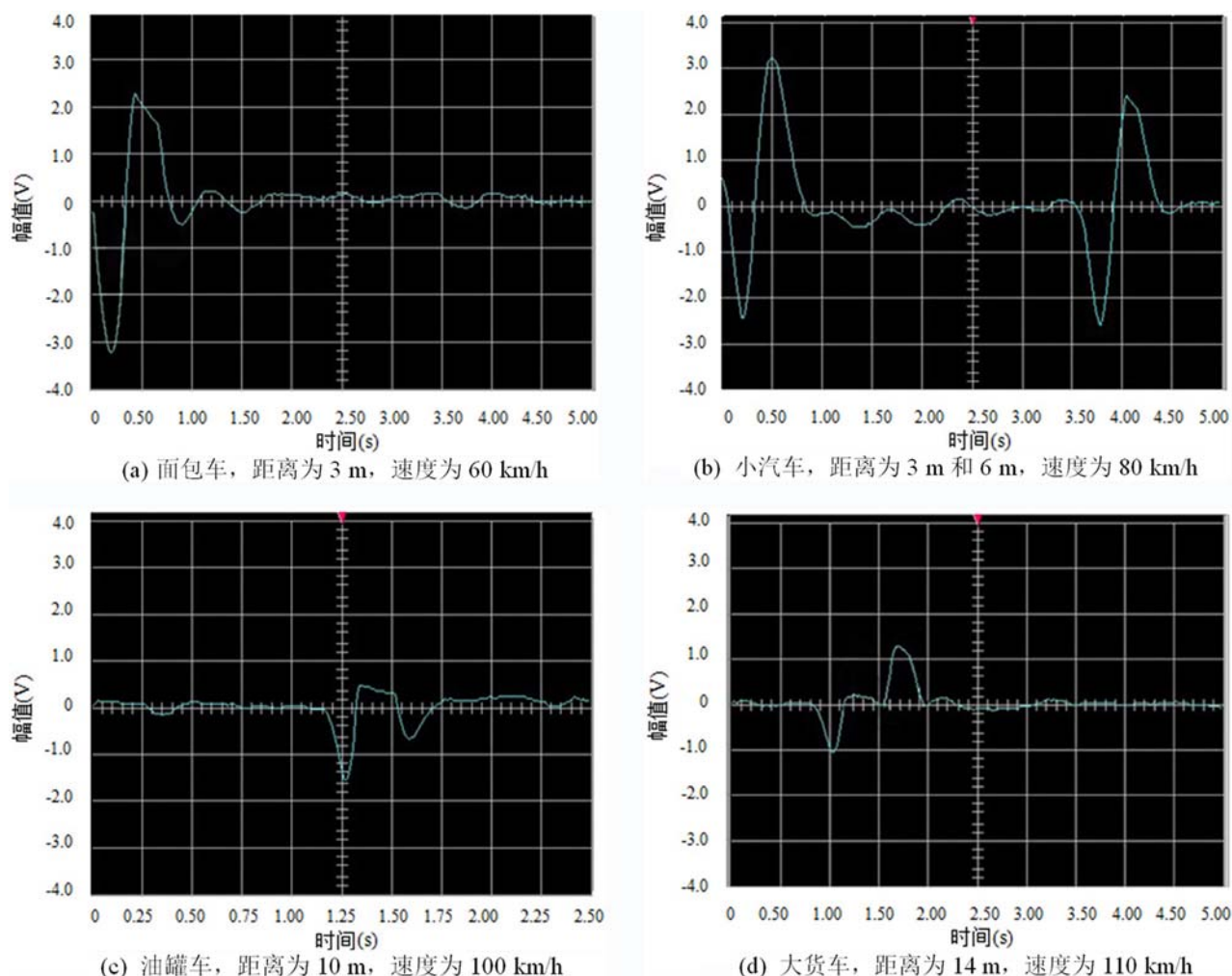


图 3 不同条件下的典型测试曲线

测试对象为高速运动的车辆, 包括小型汽车、面包车、小货车、大货车和油罐车等, 其速度在 60 ~ 140 km/h 之间。对目标的探测距离视行驶车道而定, 其典型值为 3 m、6 m、10 m 和 14 m。图 3 所示为在不同条件下得到的测试曲线。

通过对图 3 中的各条曲线进行对比可以发现, 在目标、距离和速度各异的情况下, 所得到的测量结果不尽相同, 但仍具有一定的规律性。

3 信号特征分析及运动参数识别

从被动毫米波探测系统对运动目标的实测信号中可以获得信号的总体变化趋势、信号幅值和信号的脉冲响应时间等三方面的特征信息。

3.1 信号的总体变化趋势

从图 3 中可以看出, 当目标以一定速度经过被动毫米波探测系统时, 测试曲线上出现了两个明显的峰值脉冲, 这是由探测系统中天线的方向性所决定的。该系统采用卡塞格伦天线, 其口径为 150 mm, 探测方向为天线轴线的正前方, 对应的 3 dB 波束宽度 λ 为 3.8° , 而且具有非常尖锐的方向性 (见图 4)。

当运动目标垂直穿过天线的探测区域时, 周围空域与目标之间存在毫米波辐射差异, 使探测系统产生响应, 引起输出信号的变化, 从而形成前后两个峰值脉冲。其中, 第一个峰值脉冲的时间对应于目标头部进入探测区域的瞬间, 第二个峰值脉冲的时间则代表目标尾部离开探测区域的瞬间。因此, 这两个脉冲之间的时间间隔与目标的运动速度有关。

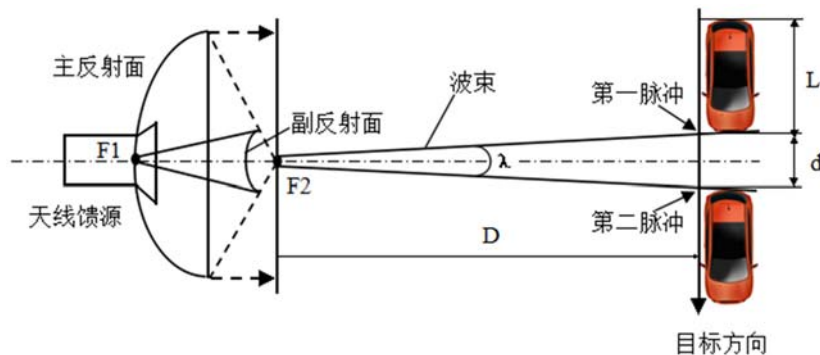


图4 探测天线的方向性

由于车身较长，且表面辐射特性不一致，大型车辆在两个脉冲之间会出现一些不规则的波动变化，其波形成分复杂，而小型车辆的波形则比较单一、尖锐。

3.2 信号幅值

信号幅值主要是指脉冲峰值的大小。通过对图3中的测试曲线进行分析，可以得到不同探测距离上的前后两个脉冲的峰值（见表1）。

表1 不同距离时的信号幅值

距离 (m)	第一脉冲幅值 (V)	第二脉冲峰值 (V)
3	3.2	2.2
6	2.4	3.1
10	1.6	0.7
14	1.0	1.3

由表1可见，第二个脉冲的幅值相对于探测距离并没有规律性，但第一个脉冲的幅值与探测距离之间存在明显的比例关系：距离越远，脉冲峰值越小。从图3中也可以看出，由于测试目标都是用金属材料制成的，第一个脉冲的幅值大小与车辆类型无关，同时也与目标的运动速度没有直接关系，但其随探测距离的变化趋势却具有一定的规律性。因此，信号幅值可以作为被动毫米波目标探测的一个有效特征。

3.3 信号的脉冲响应时间

信号的脉冲响应时间包括前后两个脉冲的持续时间以及前沿和后沿的响应时间。图3(b)中，在目标同类、速度相同的条件下，不同距离上的测试信号的脉冲响应时间没有明显差别；再对比图3(a)和图3(c)，在目标、速度、距离均不同的条件下，信号的脉冲响应时间也变化不

大。因此，信号的脉冲响应时间在被动毫米波探测中不是一个有效特征。

3.4 目标运动参数识别

如上所述，测试信号的第一个脉冲的峰值和两个脉冲的间距能够反映目标通过探测区域时的运动特性。在被动毫米波探测系统的实际应用中，首先根据第一脉冲的幅值确定目标距离 D 。由图4所示的几何关系可知，目标在探测区域内的穿行行程 d 为

$$d = 2D \tan \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

两个脉冲峰值相应时间的间隔为 t ，它对应于目标头部进入探测区域和尾部离开探测区域时的时间间隔。时间 t 内目标前进的总距离为 $d+L$ ，其中 L 为穿越探测区的目标长度。因此，目标的运动速度 v 为

$$v = \frac{d+L}{t} \quad (2)$$

根据上述公式，对图3中的测试信号进行了计算（结果见表2）。其中，小汽车的长度为4.4 m，但由于探测系统的高度大于小汽车头部和尾部的高度，被测试的有效长度小于实际长度。

由于测试试验是在户外公路上进行的，探测系统贴近地面，以至于毫米波辐射计的输出信号会受到诸多因素的影响，比如大气干扰、地面杂波、电路噪声以及目标辐射特性的不均匀性等。因此，最终得到的分析结果存在一定的误差，但总体上还是达到了预期目标，说明利用被动毫米波技术探测运动目标是可行的。

（下转第21页）