

文章编号:1001-9014(2006)05-0386-03

弹载毫米波辐射计天线辐射方向图的仿真处理研究

罗冶, 张祖荫

(华中科技大学 电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要:以已知的相互正交的两个平面上的天线方向特性为基础,采用 Shepard 插值方法,导出了弹载毫米波辐射计在直角坐标系下空间各点的天线增益分布,并据此对目标信号进行了仿真计算,所得结果可为辐射计目标识别和成像研究提供准确、重要的基础数据。

关键词:毫米波辐射计;天线方向图;天线温度;仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

RESEARCH ON SIMULATION OF ANTENNA PATTERN IN MILLIMETER WAVE RADIOMETER ON BOMB

LUO Ye, ZHANG Zu-Yin

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the antenna directional characters in two plumb planes, the Shepard method was selected to deduce the space gain distribution of antenna of millimeter wave radiometer on bomb in Cartesian reference frame. The results of the emulational calculation of object signal show that it can supply exact and important criterions for target recognition and imaging.

Key words: millimeter wave radiometer; antenna pattern; antenna temperature; simulation

引言

计算机仿真为高效率、高性价比研发辐射计提供了一条可重复试验和分析性能,并最终达到实际运行要求的有效途径,且可为后续的目标识别和成像研究提供重要的基础数据^[1]。

在毫米波辐射计仿真系统设计中,辐射计天线方向图的仿真是基础,也是难点。一般工程用天线仅提供 E 面和 H 面的天线方向图,而在仿真时,实际需要的是整个天线照射口面的功率分布图。而且,辐射计天线又有一定的工作倾角,故需要将天线方向图做适当倾斜。本文对这两个问题进行研究。

1 辐射计目标信号的数学模型

弹载毫米波辐射计的天线与地面探测目标的交会状态如图 1 所示。图中, h 为辐射计所处的高度, θ_F 为辐射计天线波束中心轴与铅垂线的夹角, ω 为天线波束的有效辐射口径面所张的立体角,设辐射

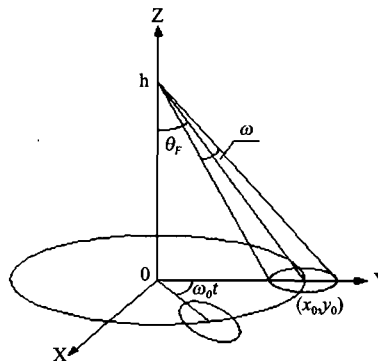


图 1 辐射计天线与地面探测目标的交会状态示意图
Fig. 1 Intersecting diagram of radiometer antenna and the target on the ground

计天线自 y 轴起,以角速度 ω_0 沿顺时针方向旋转,对地面目标进行探测扫描。

极坐标系下,设辐射计接收机天线波束的增益分布为 $G(\theta, \varphi)$, 物体的辐射温度分布为 $T(\theta, \varphi)$, 则天线温度 T_a 可表示为^[1,2]:

收稿日期:2005-11-10,修回日期:2006-06-25

基金项目:航天支撑技术基金(0506)

作者简介:罗冶(1957-),男,湖北应城人,华中科技大学电信系讲师,主要从事电磁场及微波、毫米波的教学与研究。

Received date: 2005-11-10, revised date: 2006-06-25

$$T_a = \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} T(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) d\Omega, \quad (1)$$

将式(1)在直角坐标系下展开,并考虑到天线的有效辐射口径面有限,可用一有限大小的规则平面替代,则有:

$$T_a = \frac{h}{4\pi} \iint_{x_1, y_1}^{x_2, y_2} \frac{T_{AP}(x, y) G(x, y)}{(x^2 + y^2 + H^2)^{3/2}} dx dy, \quad (2)$$

其中, T_{AP} 代表地物目标温度,各种典型地物目标与背景间的 T_{AP} 值可通过实验获得,为已知值。

天线波束的增益分布 $G(\theta, \varphi)$ 对计算至关重要,以往的方法是将其近似等效为:

$$G(\theta, \varphi) = G_0 e^{-b\theta^2}, \quad (3)$$

其中, G_0 为天线波束中心增益, b 为波形系数, θ 为扫描点与波束中心的夹角。

采用式(3)模拟天线波束有以下不足:它仅对柱对称型天线有效,无法模拟那些有特殊用途的非柱对称型天线;式(3)未能将天线波束的主副瓣区别表示,与实际使用有差异;当天线扫描区域内地物复杂时,式(3)对应的数学模型与实际应用出入较大,无法为辐射计目标成像等提供准确的原始仿真数据。

2 垂直下视时的辐射计天线方向图的插值仿真

由式(2)知,若能设法获知辐射计天线波束在其有效辐射口径面内功率分布情况,将其代入即可直接求解 T_a 。实际工程应用时,常采用给定两个相互正交的主平面(E面、H面)上的天线方向图来描述天线的方向性。今以此为基础,采用插值方法求出辐射计天线在整个有效辐射口径面上的功率方向图 $G(x, y)$ 。用一般的 Lagrange 方法进行插值虽然方法简单,但会导致较剧烈的数据震荡(Runge 现象),与实际情况出入较大。这里采用双自变量的 Shepard 方法进行插值。即有:

$$T_A(x, y) = \sum_{k=1}^n T_{AK} \times W_k(x, y), \quad (4)$$

$$\text{式中, } W_k = \frac{\prod_{j \neq k} d_j(x, y)^b}{\sum_{k=1}^n \prod_{j \neq k} d_j(x, y)^b},$$

$$d_j(x, y) = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}, \quad (5)$$

其中, (x_j, y_j) 为已知的控制数据点,幂次参数 b 控制加权系数如何随着离开一个控制数据点距离的增加而下降。若选 $0 \leq b \leq 1$,则在控制数据点 (x_j, y_j) 处不存在一阶偏导数,形成角点或尖点;若 $b > 1$,则在

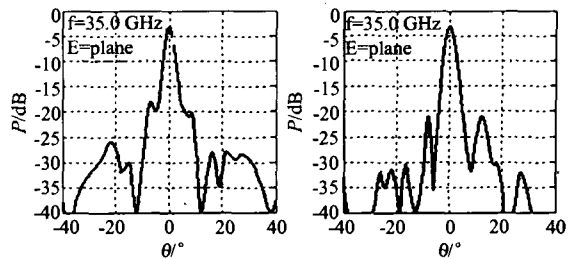


图2 辐射计天线 E 面、H 面功率方向图
Fig. 2 Antenna power pattern in E and H side for radiometer

(x_j, y_j) 处的一阶偏导为零,形成“平台”效应。与一般的 Lagrange 插值法相比,Shepard 插值法可以较好地克服 Runge 现象,使插值效果与实际情况更加符合。

今有某毫米波辐射计实际天线的 E 面、H 面功率方向图如图 2 所示。其中,横坐标为沿 E 面、H 面的张角 θ ,纵坐标为对应的功率 dB 值。以此为控制数据点,做 Shepard 插值后得到的天线波束功率立体分布如图 3 所示。其中, x, y 轴表示辐射计天线照射到地面上的空间坐标值, z 轴表示天线的功率增益(dB)值。考虑到该天线结构满足柱对称,故在与 E 面和 H 面呈 45° 角的 2 个平面上插入一组辅助控制数据点,取值为 E 面和 H 面上相应 dB 数的均值。在进行 Shepard 插值时,对于 E 面、H 面上的诸控制数据点,其幂次参数 b 取为 1.95,以保持这些点原有的图形尖锐性。而对辅助控制数据点,其幂次参数 b 取为 10,以使在辅助控制数据点附近的拟合曲面变得平坦。

3 侧下视时的辐射计天线方向图的插值仿真

Shepard 插值所得仅为天线倾角为 0° 时的功率

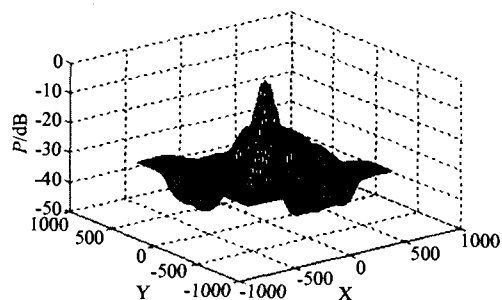


图3 插值所得的辐射计天线功率方向图
Fig. 3 Antenna power pattern of radiometer by interpolation

方向图,需将其整体旋转 θ_F 角.天线的平移、旋转处理过程如图 4 所示(设辐射计天线自 y 轴起开始旋转扫描).

对于 0 倾角时天线照射到地面的有效辐射口径面中的一点 $M_0(x_0, y_0, 0)$, 作如下处理:

(1) M_0 点平移, 得点 $M_1(x_1, y_0, z_1)$ 点. 其中, $x_1 = x_0, z_1 = -h$, 如图 4(b) 所示.

(2) M_1 点旋转 θ_F 角度, 可得 $M_2(x_2, y_0, z_2)$ 点. 其中, $x_2 = x_0 \cos\theta_F + h \sin\theta_F, z_2 = x_0 \sin\theta_F - h \cos\theta_F$, 如图 4(b) 所示.

(3) M_2 点投影至平面 p , 得 $M_3(x_3, y_0, z_3)$ 点. 其中, $x_3 = \frac{x_0 \cos\theta_F + h \sin\theta_F}{x_0 \sin\theta_F - h \cos\theta_F} h, z_3 = -h$, 如图 4(b) 所示.

(4) M_3 点再作平移, 得 $M_4(x_4, y_0, z_4)$ 点. 其中, $x_4 = \frac{x_0 \cos\theta_F + h \sin\theta_F}{x_0 \sin\theta_F - h \cos\theta_F} h, z_4 = 0$, 如图 4(c) 所示. M_4 即为辐射计天线倾斜 θ_F 角后 M_0 点在新的有效辐射口径面上的对应变换点.

同理, 可求出辐射计天线倾斜 θ_F 角后, 新的有效辐射口径面(椭圆)的照射范围. 以此来确定式(2)的积分区间.

以式(2)为目标信号的数学模型, 计入辐射计工作参数, 地面探测目标分布情况等, 可得到未考虑噪声时的目标信号. 又设毫米波辐射计噪声服从正态分布, 其噪声均值为零, 将其与式(2)迭加后可得计入噪声后的弹载毫米波辐射计目标信号值.

4 仿真结果

当取地面目标为全草地上覆盖一宽 50 米的长条状混凝土物时, 辐射计与混凝土物距离不同时的仿真结果如图 5、图 6 所示. 其中, 横坐标为辐射计采样点数, 纵坐标为辐射计测得温度 T_A . 天线倾角 25° , 草地定标温度取 291.5K, 混凝土定标温度取 261.02K, 噪声取 1.8K. 仿真结果与实测数据基本相符. 随着距离的改变, 可见同一地物目标信号的

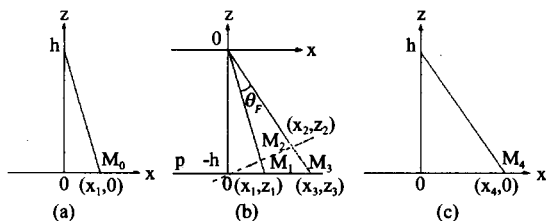


图 4 天线平移、旋转示意图
Fig. 4 Diagram for the antenna's parallel moving and rotation

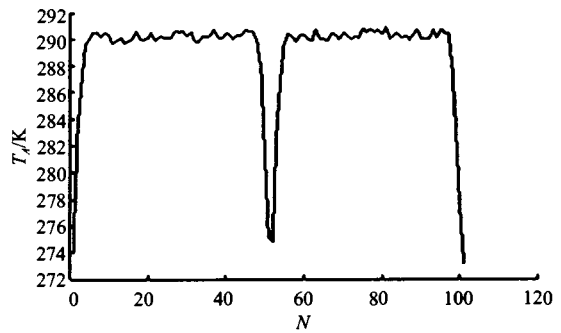


图 5 辐射计位于混凝土物正上方时的仿真计算结果
Fig. 5 Digital simulating results when the radiometer is at the top of concrete target

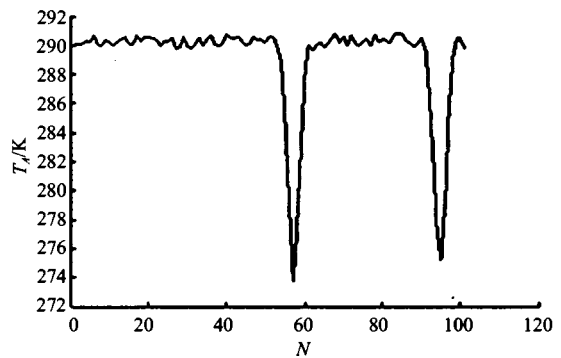


图 6 辐射计偏离混凝土物 160 米时的仿真计算结果
Fig. 6 Digital simulating results when the radiometer is far from the concrete target by 160 meter

脉宽会有较明显的差异. 另外, 当将同样尺寸的混凝土物改为黄土地物时, 可以发现距离相同时, 对于不同的地物, 随着距离的改变, 目标信号脉高亦有较明显的差异, 而信号脉宽则与目标的实际尺寸有关. 这些差别, 准确反映了不同空间位置处的辐射计照射于不同地物时的信号特征, 证明了该方法的可行性和正确性. 可以预期, 当地物目标分布复杂时, 本文介绍方法的优越性将愈加凸显.

REFERENCES

[1] ZHANG Guang-Feng, ZHANG Zu-Yin, GUO Wei. Research on 3mm band radiometric imaging [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张光锋, 张祖荫, 郭伟. 3mm 波段辐射成像研究. *红外与毫米波学报*), 2005, 26(6): 297—302.

[2] Kaste O C. The comparison of signal and noise value with measurement value about 35 GHz passive radiometer output [J]. *AD-A 040366*, 1980: 16—242.

[3] XU Jiang-Zhong. Partial physical simulation of signal of millimeter wave radiometer on bomb [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (许建中. 弹载毫米波辐射计信号半实物仿真. *红外与毫米波学报*), 1999, 18(2): 167—170.