

文章编号 :1001 - 2486( 2005 )01 - 0069 - 04

# 基于 HMM 的 FOPEN UWBSAR 图像中的树干杂波抑制\*

方学立,梁甸农,董臻

(国防科技大学 电子科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

**摘要** 树干杂波是叶簇穿透(FOPEN)超宽带合成孔径雷达(UWBSAR)图像中叶簇隐蔽目标检测的主要干扰,能否有效抑制树干杂波是目标检测成功与否的关键。利用 UWBSAR 的大积累角成像特性所提供的目标方向性信息,基于隐马尔可夫模型(HMM),提出了一种识别并抑制树干杂波的方法。试验结果表明,该方法可有效识别并抑制 FOPEN UWBSAR 图像中的树干杂波,增强叶簇隐蔽目标检测性能。

**关键词** FOPEN UWBSAR;目标检测;树干杂波抑制

中图分类号:TN957 文献标识码:B

## Trunk Clutter Suppression in FOPEN UWBSAR Images Based on HMM

FANG Xue-li, LIANG Dian-nong, DONG Zhen

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :When detecting man-made targets hidden in foliage in a FOPEN UWBSAR image, trunk clutter is the primary disturbance. Whether the detection can be performed successfully or not is dependent on the performance of the trunk clutter suppression. Based on Hidden Markov Modeling, a new trunk clutter recognition and suppression method is proposed. From the experiments results, the recognition method proposed in this paper can recognize the trunk clutter in UWBSAR image effectively, and improve the target detection performance in foliage.

**Key words** FOPEN UWBSAR; target detection; trunk clutter suppression

穿透叶簇(FOLIAGE PENETRATING,即 FOPEN)的超宽带合成孔径雷达(Ultra-WideBand Synthetic Aperture Radar,即 UWBSAR)一般工作于波长较长的 VHF/UHF 波段,大量实验结果表明,在 VHF/UHF 低频段,树冠散射较弱,不能遮挡目标回波,即目标回波具有穿透叶簇的能力,而地面和树干的相互作用构成的二面角,却在回波信息中形成亮斑,严重干扰目标检测性能,因此能否有效抑制树干杂波直接影响到 FOPEN UWBSAR 探测隐蔽目标的性能<sup>[1~3]</sup>。

叶簇隐蔽目标同树干一样是静止的(运动的属于运动目标检测),传统雷达杂波抑制方法不能抑制树干回波。FOPEN UWBSAR 相对带宽宽,积累角大,因而可能由所提供的方位角、频率等观察空间提供的信息来进行树干杂波抑制。很多文献指出<sup>[4,5]</sup>,人造目标在 FOPEN UWBSAR 中可视为二面角,对电磁波的散射具有正侧闪烁效应。树干与地面虽也可以构成二面角反射体,但由于树干可以等效为一个圆柱体,对从各个方向来的电磁波都具有近似相同的反射能力,因而对电磁波的散射没有正侧闪烁效应。一些 FOPEN UWBSAR 目标检测算法就是基于方位向的正侧闪烁效应而设计的<sup>[6]</sup>。本文将利用 UWBSAR 的大积累角成像特性所提供的目标方向性信息,根据树干的各向同性,提出一种树干杂波识别并抑制的方法。

### 1 算法描述

SAR 在工作时,沿着航线从一个方向向另一个方向运动并照射目标。对于 UWBSAR,雷达波束很

\* 收稿日期 2004 - 09 - 08

基金项目:国家部委基金资助项目(41307020203)

作者简介:方学立(1976—)男,博士生。

宽,成像积累角大,在实际成像中,可以把 UWBSAR 的大积累角分成若干小的积累角,这些小的积累角的成像结果相当于雷达从不同方向对目标进行观测。提取某像素点对应的这些不同方向的积累角的成像输出,构成一个序列,则该序列包含了对应像素的方向变化信息,定义这个序列为子孔径轨迹。子孔径轨迹反映了反射体对不同子积累角的成像输出变化。树干回波随着 SAR 与树干之间相对位置的变化而基本恒定,因此其子孔径轨迹应当比较恒定,起伏小,而一般的可视为二面角的物体与人工目标回波则会因为正侧闪烁现象而具有较大起伏的子孔径轨迹,理论分析<sup>[3,6]</sup>与试验结果都证实了这一点。图 1 给出了三类典型散射目标的子孔径轨迹曲线。

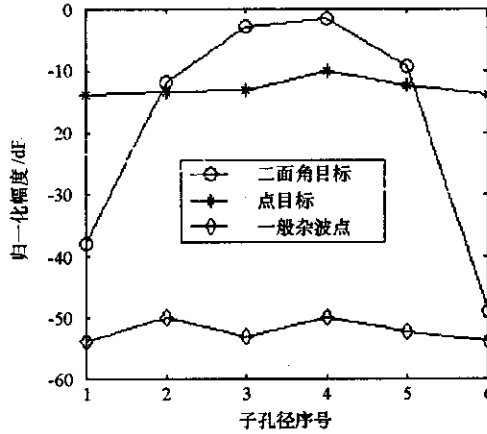


图 1 二面角目标、点目标和一般杂波点子孔径轨迹

Fig. 1 The sub-aperture trajectory of dihedral targets, point targets and general clutter

1.1 用 HMM 对 UWBSAR 子孔径轨迹进行建模

根据树干的特性,可将其视为 FOPEN UWBSAR 图像中的点目标,因此可以运用点目标检测方法来识别树干杂波。很多文献用隐马尔可夫模型(HMM)对可视为二面角的人造目标进行建模,很好地实现了人造目标检测<sup>[5-7]</sup>。实际上,也可以用 HMM 来对可视为点目标的树干杂波的方向性进行建模。由于树干杂波的方向性是各向同性的,用 HMM 对树干杂波建模有更多的优点:

(1) 在 FOPEN UWBSAR 中,树干杂波识别等价于目标检测。树干杂波的存在是影响 FOPEN UWBSAR 图像中人造目标检测性能的主要因素,因此在 FOPEN UWBSAR 图像中目标检测之前,先识别出树干杂波并去除后,会在很大程度上提高 FOPEN UWBSAR 图像中目标检测的性能。因此,在 UWBSAR 图像中,树干识别与目标检测基本上是一一对等价问题,只要完成了树干杂波识别,也就等于实现了目标检测。

(2) 可以简化 HMM 建模的过程。由于树干的各向同性,在用 HMM 对树干杂波进行训练时需要的样本要比用 HMM 对目标建模要少,此外, HMM 初始转移概率也基本上不需要考虑。

因此本文将基于 HMM 提出一种 FOPEN UWBSAR 图像中树干杂波识别方法,该方法的实现流程可以见图 2。

HMM 可以表示为  $\lambda(S, A, B, \pi)$ 。设 HMM 的状态数为  $L$ , 则  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_L\}$  是表示 HMM 的  $L$  个状态集合;  $A$  为表示转移概率的  $L \times L$  维矩阵;  $B$  为表示观测概率的  $L \times N$  维矩阵;  $\pi$  是表示初始状态概率的  $L$  维向量。

图 2 可分为两部分,第一部分是 HMM 训练,另一部分则是关于如何用训练好的 HMM 对输入图像进行匹配。本文研究树干杂波识别方法,因此在图 2 的第一部分,选定几个树干杂波的样本对 HMM 进行训练。在经过第一部分的训练后, HMM 的参数就确定了,可以记为  $\lambda_{Trunk}$ , 这时给定一幅 UWBSAR 图像,由图 2 的第二部分就可以得到相应结果。

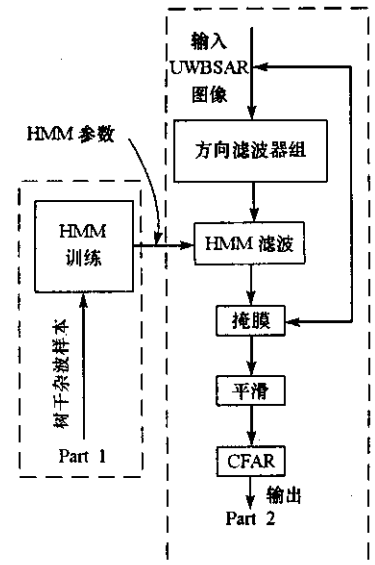


图 2 基于 HMM 的树干杂波识别框图  
Fig. 2 Processing flow of trunk clutter recognition based on HMM

HMM 滤波的输出是匹配概率:

$$y(m, n) = P(O_{(m, n)} | \lambda_{\text{Trunk}}) \quad (1)$$

其中,  $O_{(m, n)} = (o_1, o_2, \dots, o_N)$  是 UWBSAR 图像中像素  $(m, n)$  的子孔径轨迹<sup>[6]</sup>,  $P(O_{(m, n)} | \lambda_{\text{Trunk}})$  是在  $\lambda_{\text{Trunk}}$  的条件下, 观测序列  $O_{(m, n)}$  出现的条件概率。式(1)可以更详细地写为:

$$P(O_{(m, n)} | \lambda_{\text{Trunk}}) = \sum_{i=1}^L \alpha_N(i) \quad (2)$$

其中, 当  $k=1$  时, 有

$$\alpha_1(i) = P(o_1 \rightarrow s_i | \lambda_{\text{Trunk}}) = \pi_i b_{i1}, \quad 1 \leq i \leq L \quad (3)$$

当  $k=2, 3, \dots, L$  时, 有

$$\alpha_k(i) = P(o_1, o_2, \dots, o_k \rightarrow s_i | \lambda_{\text{Trunk}}) = b_{ik} \sum_{j=1}^L a_{ij} \alpha_{k-1}(j), \quad 1 \leq i \leq L \quad (4)$$

其中,  $\rho_1, o_2, \dots, o_k \rightarrow s_i$  表示当前部分观测向量为  $o_1, o_2, \dots, o_k$ , 当前观测对应的 HMM 状态为  $s_i$ 。  $\pi_i$ ,  $b_{ik}$  和  $a_{ij}$  是 HMM 的参数。

## 1.2 用树干杂波样本对 HMM 进行训练

假定 SAR 沿着航线从  $L$  个不同的角度照射目标, 则可以把这  $L$  个不同的角度对应于 HMM 的  $L$  个状态。通过式(1)或式(2)计算 UWBSAR 图像中各像素点对  $\lambda_{\text{Trunk}}$  的匹配程度时, 需要用到 HMM 的参数  $\pi_i$ ,  $b_{ik}$  和  $a_{ij}$ , 在实际中, 这些参数需要通过确定的样本来训练得到。本文用树干杂波的子孔径轨迹作为 HMM 参数的训练样本。假定样本数目为  $M$ , 则样本可以表示为  $(O^1, O^2, \dots, O^M)$ , 其中每个  $O^m$  ( $1 \leq m \leq M$ ) 都是  $N$  维的观测矢量,  $m$  表示样本的序号。由于 HMM 的参数训练可以由著名的 Baum-Welch 方法实现, 所以本文只考虑训练时初始参数的设定。

用 Baum-Welch 方法进行训练, 有可能使训练参数陷入与参数的初始值相近的局部最优处, 如果根据物理原理选择初始参数, 则可以使训练结果达到全局最优, 因此必须精心选择初始训练参数值。树干的子孔径轨迹是各向同性的, 如果用全局图像对观测值进行量化, HMM 的初始状态应当为均匀分布的, 同理, 参数  $A$  和  $B$  也应当是均匀分布的, 即:

$$\pi_i = 1/L, \quad a_{ij} = 1/L, \quad b_{in} = 1/L \quad (5)$$

其中,  $1 \leq i, j \leq L, 1 \leq n \leq N$ 。

## 2 试验结果

图 3(a) 是一幅 UWBSAR 图像, 其左上角为两辆车, 右下角为两棵树木。在本文的试验中, 选一个树干作为样本, 对 HMM 的参数进行训练。设 HMM 的状态数为 4, 观测值的量化等级为 8。

图 3(b) 有 4 个圈, 分别表示两辆车和两个树干对 HMM 的匹配概率。可见, 车辆的输出要远低于树干的输出。以图 3(b) 为权值, 对图 3(a) 进行加权得到图 3(c)。在图 3(c) 中, 树干杂波清楚地显示出来。图 3(d) 是对树干杂波的识别结果。

当树干杂波识别完成时, 可以用树干杂波识别的结果来指导 UWBSAR 图像中的叶簇隐蔽人造目标检测。以图 3(d) 的结果为先验信息, 提取识别出的树干杂波的坐标, 在图 3(a) 中进行相应剔除, 便可以达到抑制树干杂波的目的。

## 3 结论与展望

本文提出了一种树干杂波识别方法, 试验结果表明, 该方法可以有效识别 FOPEN UWBSAR 图像中的树干杂波。对于 FOPEN UWBSAR 图像, 树干杂波识别与人造目标检测是等价的, 而用 HMM 对树干杂波建模要比对人造目标建模简单, 因此本文所提出的方法可以在识别并抑制树干杂波的基础上, 简化 FOPEN UWBSAR 图像中人造目标检测的实施, 提高 FOPEN UWBSAR 图像中人造目标的检测性能。

由于受实验数据的限制, 本文只对孤立树干进行了算法验证。对于成片树林情况, 只要树林不够密, 树木之间的遮挡效应以及树干之间形成的二面角效应不明显, 本方法仍然是有效的。如果树干之间互相形成遮挡, 会引起树干的子孔径轨迹起伏, 尽管它不具有二面角目标的正侧闪烁效应, 也会引起本

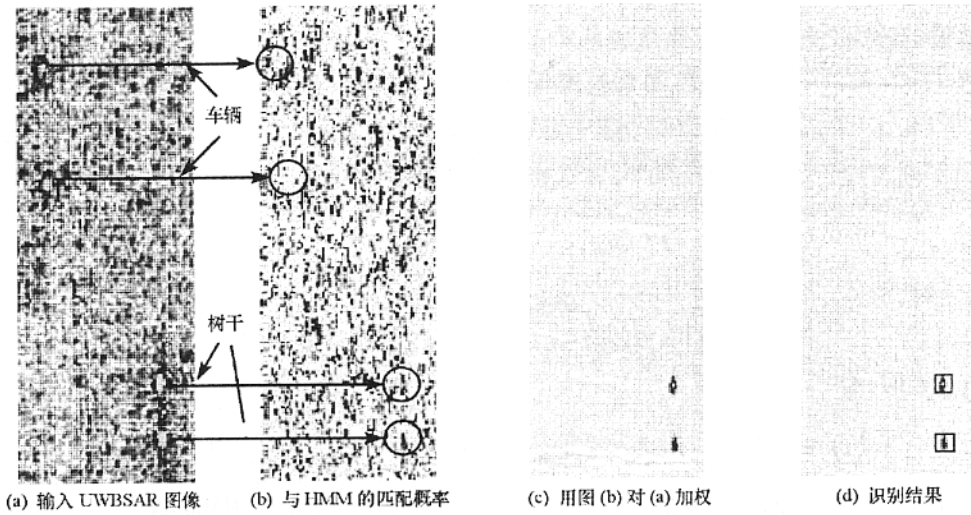


图 3 试验结果

Fig. 3 Experiment results

文方法对树干杂波的识别效果下降,对这一情况的具体分析是作者下一步的研究工作。

### 参考文献:

- [ 1 ] Sheen D R , et al. Foliage Transmission Measurements Using a Ground-based Ultrawide Band ( 300 ~ 1300 MHz ) SAR System[ J ]. IEEE Trans. on GRS , 1994 , 32( 1 ) : 119 - 130.
- [ 2 ] Sheen D R , Johnston L P. Statistical and Spatial Properties of Forest Clutter Measured with Polarimetric Synthetic Aperture Radar[ J ]. IEEE Trans. on GRS , 1992 , 30( 3 ) : 578 - 588.
- [ 3 ] Sullivan A , He J Q , Geng N , et al. Phenomenological Modeling for FOPEN SAR : Tree-trunk Scattering on Flat Terrain and with Concealed Target[ A ]. SPIE , 1999 , 3721 : 224 - 234.
- [ 4 ] Halverson S D , et al. A Comparison of Ultra-wideband SAR Target Detection Algorithms[ A ]. SPIE , 1994 , 2230 : 230 - 243.
- [ 5 ] Runkle P , et al. Multi-aspect Target Detection for SAR Imagery Using Hidden Markov Model[ J ]. IEEE Trans. on GRS , 2001 , 39( 1 ) : 46 - 54.
- [ 6 ] 蒋咏梅. 叶簇穿透超宽带 SAR 目标检测方法研究[ D ]. 长沙 : 国防科技大学 , 1998.
- [ 7 ] Flake L R. Multi-aperture SAR Target Detection Using Hidden Markov Models[ D ]. The Ohio State University M. Sc Dissertation , 1995.

