



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108761397 B

(45) 授权公告日 2022.05.27

(21) 申请号 201810536823.4

CN 103593669 A, 2014.02.19

(22) 申请日 2018.05.30

CN 103365985 A, 2013.10.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107229933 A, 2017.10.03

申请公布号 CN 108761397 A

CN 103886335 A, 2014.06.25

(43) 申请公布日 2018.11.06

CN 104463227 A, 2015.03.25

(73) 专利权人 中南大学

CN 106127221 A, 2016.11.16

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

CN 101483777 A, 2009.07.15

CN 101251595 A, 2008.08.27

CN 103235301 A, 2013.08.07

CN 105445712 A, 2016.03.30

(72) 发明人 朱建军 韩文涛 解清华 付海强
李志伟 汪长城

US 2013336369 A1, 2013.12.19

US 6826284 B1, 2004.11.30

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114

EP 1780658 A1, 2007.05.02

CN 104865572 A, 2015.08.26

专利代理师 祁筱东 龚燕妮

Qinghua Xie. Quantitative Analysis of

(51) Int. Cl.

Polarimetric Model-Based Decomposition

G01S 7/02 (2006.01)

Methods.《remote sensing》.2016,1-28. (续)

(56) 对比文件

审查员 杨娜

CN 103617344 A, 2014.03.05

CN 102540157 A, 2012.07.04

权利要求书2页 说明书7页 附图6页

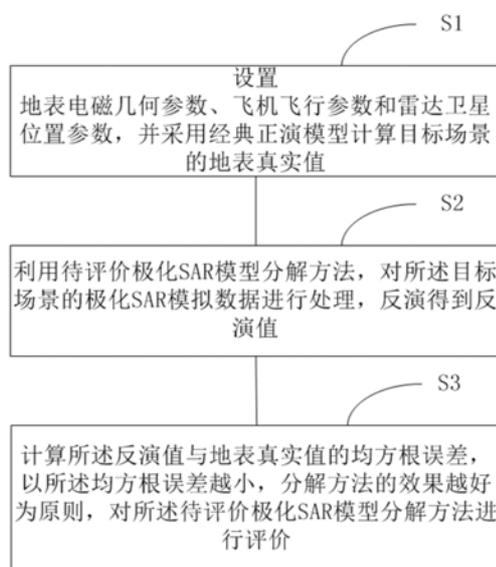
(54) 发明名称

基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法,步骤S1:设置地表电磁几何参数、飞机飞行参数和雷达卫星位置参数,并采用经典正演模型计算目标场景的地表真实 β 值;步骤S2:利用待评价极化SAR模型分解方法,对目标场景的极化SAR模拟数据进行处理,反演得到反演 β 值;步骤S3:计算反演 β 值与地表真实 β 值的均方根误差,以均方根误差越小,分解方法的效果越好为原则,对待评价极化SAR模型分解方法进行评价。本发明方案将电磁散射模拟理论与极化SAR模型分解理论进行有机结合,从电磁波模拟的角度和模型分解的角度对分解算法进行评价,该方法公平、公正,可为不同的应用场景选择相应较优的模型分解方法提供参考。

CN 108761397 B



[接上页]

(56) 对比文件

刘雨思. 基于目标分解及纹理信息的全极化 SAR 影像分类.《地理空间信息》.2016,第16卷(第4期),11-17.

高婷婷. 基于 IEM 的裸露随机地表土壤水分反演研究.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 农业科技辑》.2011,30-31.

Jong-Sen Lee. Evaluation and Bias Removal of Multilook Effect on Entropy/Alpha/Anisotropy in Polarimetric SAR Decomposition.《IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING》.2008,第46卷(第10期),3039-3052.

1. 一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法,其特征在于,包括:

步骤S1:设置地表电磁几何参数、飞机飞行参数和雷达卫星位置参数,并采用经典正演模型计算目标场景的地表真实 β 值;

步骤S2:利用待评价极化SAR模型分解方法,对所述目标场景的极化SAR模拟数据进行处理,反演得到反演 β 值;

步骤S3:计算所述反演 β 值与地表真实 β 值的均方根误差RMSE,以所述均方根误差RMSE越小,分解方法的效果越好为原则,对所述待评价极化SAR模型分解方法进行评价;

其中,所述地表电磁集合参数包括:地表粗糙度、地表湿度、地表方位向坡度、地表距离向坡度和地表面积;

所述飞机飞行参数包括:入射角、方位向坡度、距离向坡度、飞机飞行高度和雷达电磁波频率;

所述经典正演模型包括半经验混合模块和一阶微扰模型;

所述目标场景包括森林场景、低矮纸杯场景和/或裸地场景;

所述地表真实 β 值和反演 β 值均为相干矩阵形式下的 β 值为:

$$\beta = \frac{R_H - R_V}{R_H + R_V};$$

式中, R_H 为HH极化的后向散射系数, R_V 为VV极化的后向散射系数;

所述均方根误差RMSE的计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\text{反演}\beta\text{值}-\text{地表真实}\beta\text{值})^2}{n}};$$

式中, n 为影像的像元数。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S1中所述地表真实 β 值的计算步骤为:

步骤S11:根据地表电磁几何参数和雷达电磁波频率,计算地表介电常数 ϵ_r ;

步骤S12:根据地表电磁几何参数和雷达卫星位置参数,计算地表的局部入射角 θ ;

步骤S13:根据所述地表介电常数和地表的局部入射角,计算HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V ;

步骤S14:根据所述HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V ,计算相干矩阵形式下的 β 值。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,步骤S11计算地表介电常数 ϵ_r 的具体步骤为:

步骤S111:计算自由水的介电常数 ϵ_{fw} ;

步骤S112:计算土壤纹理参数 γ ;

步骤S113:根据地表湿度 m_v 以及介电常数 ϵ_{fw} 和土壤纹理参数 γ ,采用半经验混合模型计算地表介电常数实部 ϵ'_r ;

步骤S114:根据所述地表介电常数实部 ϵ'_r ,采用线性化模型计算地表介电常数 ϵ_r ;

其中,计算自由水的介电常数 ϵ_{fw} 的公式为:

$$\epsilon_{fw} = \epsilon_{w\infty} + \frac{\epsilon_{w0} - \epsilon_{w\infty}}{1 + (2\pi f \tau_w)^2};$$

式中, f 为电磁波的频率, $\varepsilon_{w\infty}$ 为水介电常数实部的高频限制、 ε_{w0} 为水的静态介电常数、 τ_w 为水的松弛时间;

计算土壤纹理参数 γ 的公式为:

$$\gamma = 1.2748 - 0.00519S - 0.00152C;$$

式中, S 为沙土占土壤总含量的比重, C 为黏土占土壤总含量的比重;

计算地表介电常数实部 ε'_r 的半经验混合模型公式为:

$$\varepsilon'_r = \left[1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} \varepsilon_s^\alpha + m_v^y \varepsilon_{fw}^\alpha - m_v \right]^{1/\alpha};$$

式中, ρ_b 为土壤的体密度, ρ_s 为坚固土壤的体密度, 取 $\rho_s = 2.66 \text{g/cm}^3$, ε_s 为坚固土壤的介电常数, α 为通过实验得到的经验值, 为常数, 取 $\alpha = 0.65$, m_v 为地表湿度;

计算地表介电常数 ε_r 的公式为:

$$\varepsilon_r = 1.15\varepsilon'_r - 0.68.$$

4. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 步骤S12计算地表的局部入射角 θ 的具体步骤为:

步骤S121: 计算地表法线矢量 n_1 ;

步骤S122: 计算卫星天线矢量 t_1 ;

步骤S123: 根据所述地表法线矢量和卫星天线矢量, 计算地表的局部入射角 θ ;

其中, 计算地表法线矢量 n_1 的公式为:

$$n_1 = \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC};$$

式中, $\overrightarrow{AB} = (x_{b1} - x_{a1}, x_{b2} - x_{a2}, x_{b3} - x_{a3})$,

$\overrightarrow{AC} = (x_{b1} - x_{c1}, x_{b2} - x_{c2}, x_{b3} - x_{c3})$, $A(x_{a1}, x_{a2}, x_{a3})$ 、 $B(x_{b1}, x_{b2}, x_{b3})$ 和 $C(x_{c1}, x_{c2}, x_{c3})$ 分别为地表三个已知点坐标;

计算卫星天线矢量 t_1 的公式为:

$$t_1 = (0, H, L);$$

式中, H 为卫星天线距离目标点的高度, L 为卫星天线与目标点的水平距离;

计算地表的局部入射角 θ 的公式为:

$$\theta = \arccos \frac{n_1 \cdot t_1}{|n_1| |t_1|}.$$

5. 根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 计算HH极化的后向散射系数 R_H 的公式为:

$$R_H = \frac{\cos\theta - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}};$$

计算VV极化的后向散射系数 R_V 的公式为: $R_V = \frac{(\varepsilon_r - 1)(\sin^2\theta - \varepsilon_r(1 + \sin^2\theta))}{(\varepsilon_r \cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta})}$.

基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微波遥感技术领域,尤其涉及一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法。

背景技术

[0002] 极化SAR (Synthetic Aperture Radar的缩写,中文名称为合成孔径雷达)模型分解是极化SAR数据与极化SAR应用的桥梁,同时也是极化SAR数据解译的重要环节。极化SAR广泛应用于地物分类、地质灾害监测以及海洋环境监测等方面,对国家经济建设、社会发展有重要意义。

[0003] 在过去的几十年里,微波遥感技术随着硬件系统、信号处理技术和解释理论的发展迅速发展。微波遥感器可以昼夜工作,几乎不受天气和大气条件的影响。极化SAR是微波遥感技术的主流成像系统之一。极化SAR模型分解在极化SAR图像解译中具有重要意义。模型分解方法的评价可为在不同场景中选择相应较优的模型分解方法提供参考。

[0004] 目前主要的极化SAR模型分解评价方法有:1) 基于经验的散射分量定性描述;2) 散射分量出现负值的像素占总像素的比例;3) 基于蒙特卡罗模拟的定量评价;4) 基于具体应用的二次评价等方法。经过大量研究发现,上述的分解评价方法都存在一些缺陷:由于无法定量测量地表某种散射分量的占比,定性描述的评价方法无法确定到底那种分解方法更好;部分分解方法限制散射分量为正值,不存在散射分量为负值的情况,使得利用散射分量负值比例进行评价没有意义;基于蒙特卡罗模拟的定量评价受到分解模型框架的制约,不同框架的模型无法进行公平公正的评价;二次评价需要大量的财力和物力去开展外业测量。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的上述问题,本发明提供了一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法,将电磁散射模拟理论与极化SAR模型分解理论进行有机结合,弥补了传统模型分解评价方法的缺陷,从电磁波模拟的角度和模型分解的角度对分解算法进行评价,该方法公平、公正,可为不同的应用选择相应较优的模型分解方法提供参考,同时也能为地表定量参数反演提供参考。

[0006] 本发明提供了一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法,包括:步骤S1:设置地表电磁几何参数、飞机飞行参数和雷达卫星位置参数,并采用经典正演模型计算目标场景的地表真实 β 值;

[0007] 步骤S2:利用待评价极化SAR模型分解方法,对所述目标场景的极化SAR模拟数据进行处理,反演得到反演 β 值;

[0008] 步骤S3:计算所述反演 β 值与地表真实 β 值的均方根误差,以所述均方根误差越小,分解方法的效果越好的原则,对所述待评价极化SAR模型分解方法进行评价;

[0009] 其中,所述地表电磁集合参数包括:地表粗糙度、地表湿度、地表方位向坡度、地表

距离向坡度和地表面积；

[0010] 所述飞机飞行参数包括：入射角、方位向坡度、距离向坡度、飞机飞行高度和雷达电磁波频率；

[0011] 所述经典正演模型包括半经验混合模块和一阶微扰模型；

[0012] 所述目标场景包括森林场景、低矮植被场景和/或裸地场景；

[0013] 相干矩阵形式下的 β 值为：

$$[0014] \quad \beta = \frac{R_H - R_V}{R_H + R_V};$$

[0015] 式中， R_H 为HH极化的后向散射系数， R_V 为VV极化的后向散射系数；

[0016] 所述均方根误差RMSE的计算公式为：

$$[0017] \quad RMSE = \sqrt{\frac{(\text{反演}\beta\text{值}-\text{地表真实}\beta\text{值})^2}{n}};$$

[0018] 式中， n 为影像的像元数。

[0019] 本发明方案通过分别计算地表真实 β 值和反演 β 值，并求取两者的均方根误差，并通过均方根误差大小来评价模型分解方法，通过将电磁散射模拟理论与极化SAR模型分解理论进行有机结合，(即利用电磁散射模拟理论得到地表真实 β 值，利用极化SAR模型分解理论得到反演 β 值，对二者进行对比，对极化SAR模型分解算法进行评价)弥补了传统模型分解评价方法的缺陷，从电磁波模拟的角度和模型分解的角度对分解算法进行评价，该方法公平、公正，可为不同的应用选择相应较优的模型分解方法提供参考。

[0020] 由于不能武断地说某种分解方法优于另一种分解方法，需要考虑不同分解方法在不同场景中的适用性，因此，基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法对不同的地表场景的全极化模拟数据进行分解处理。首先分别对不同湿度等级、不同电磁波频率下，对不同林种的全极化模拟数据进行分解处理；接着在不同湿度等级、不同电磁波频率下，不同的低矮植被高度下，对不同低矮植被类型下的全极化模拟数据进行处理；最后在不同湿度等级、不同电磁波频率下，不同距离向坡度下，对不同的方位向坡度的裸地场景下全极化模拟数据进行处理。

[0021] 在本发明方案中，步骤S2具体而言，是将目标场景的极化SAR模拟数据与待评价极化SAR模型分解方法进行匹配后，通过计算机程序计算得到表面散射矩阵，再通过该矩阵反演得到反演 β 值。

[0022] 进一步的，步骤S1中所述地表真实 β 值的计算步骤为：

[0023] 步骤S11：根据地表电磁几何参数和雷达电磁波频率，计算地表介电常数 ϵ_r ；

[0024] 步骤S12：根据地表电磁几何参数和雷达卫星位置参数，计算地表的局部入射角 θ ；

[0025] 步骤S13：根据所述地表介电常数和地表的局部入射角，计算HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V ；

[0026] 步骤S14：根据所述HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V ，计算相干矩阵形式下的 β 值。

[0027] 在步骤S11中，在计算地表介电常数时，我们只考虑介电常数的实数部分，因为介电常数的虚部对实验结果的影响非常小。步骤S12计算的是地表局部入射角，而不是飞机的

入射角,因此在求解局部入射角时,需要综合考虑卫星或者飞机的入射角和地表的地形。对于步骤S13而言,从电磁波模拟的角度,计算地表真实的后向散射系数,求解出来的后向散射系数,不会受极化SAR模型分解算法的干扰,使得本发明方案得到的结果更加可靠。

[0028] 进一步的,步骤S11计算地表介电常数 ϵ_r 的具体步骤为:

[0029] 步骤S111:计算自由水的介电常数 ϵ_{fw} ;

[0030] 步骤S112:计算土壤纹理参数 γ ;

[0031] 步骤S113:根据地表湿度 m_v 以及介电常数 ϵ_{fw} 和土壤纹理参数 γ ,采用半经验混合模型计算地表介电常数实部 ϵ'_r ;

[0032] 步骤S114:根据地表介电常数实部 ϵ'_r ,采用线性化模型计算地表介电常数 ϵ_r ;

[0033] 其中,计算自由水的介电常数 ϵ_{fw} 的公式为:

$$[0034] \quad \epsilon_{fw} = \epsilon_{w\infty} + \frac{\epsilon_{w0} - \epsilon_{w\infty}}{1 + (2\pi f \tau_w)^2};$$

[0035] 式中, f 为电磁波的频率, $\epsilon_{w\infty}$ 为水介电常数实部的高频限制、 ϵ_{w0} 为水的静态介电常数、 τ_w 为水的松弛时间;

[0036] 计算土壤纹理参数 γ 的公式为:

$$[0037] \quad \gamma = 1.2748 - 0.00519S - 0.00152C;$$

[0038] 式中, S 为沙土占土壤总含量的比重, C 为黏土占土壤总含量的比重;

[0039] 计算地表介电常数实部 ϵ'_r 的半经验混合模型公式为:

$$[0040] \quad \epsilon'_r = \left[1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} \epsilon_s^\alpha + m_v^\gamma \epsilon_{fw}^\alpha - m_v \right]^{1/\alpha};$$

[0041] 式中, ρ_b 为土壤的体密度, ρ_s 为坚固土壤的体密度,取 $\rho_s = 2.66 \text{g/cm}^3$, ϵ_s 为坚固土壤的介电常数, α 为通过实验得到的经验值,为常数,取 $\alpha = 0.65$, m_v 为地表湿度;

[0042] 采用线性化模型计算地表介电常数 ϵ_r 的公式为:

$$[0043] \quad \epsilon_r = 1.15 \epsilon'_r - 0.68。$$

[0044] 在步骤S112中,不同的土壤得到的土壤纹理参数不同,为得到更为准确的土壤纹理参数,可对不同的土壤进行实地调研。

[0045] 在步骤S114中,由利用半经验混合模型求得的地表介电常数实部构成的地表介电常数,对真实地表的介电常数的模拟效果不够好,需要再采用线性化模型进行修正,计算最终的地表介电常数。

[0046] 进一步的,步骤S12计算地表的局部入射角 θ 的具体步骤为:

[0047] 步骤S121:计算地表法线矢量 n_1 ;

[0048] 步骤S122:计算卫星天线矢量 t_1 ;

[0049] 步骤S123:根据所述地表法线矢量和卫星天线矢量,计算地表的局部入射角 θ ;

[0050] 其中,计算地表法线矢量 n_1 的公式为:

$$[0051] \quad n_1 = \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC};$$

[0052] 式中, $\overrightarrow{AB} = (x_{b1} - x_{a1}, x_{b2} - x_{a2}, x_{b3} - x_{a3})$,

$\overrightarrow{AC} = (x_{b1} - x_{c1}, x_{b2} - x_{c2}, x_{b3} - x_{c3})$, $A(x_{a1}, x_{a2}, x_{a3})$ 、 $B(x_{b1}, x_{b2}, x_{b3})$ 和 $C(x_{c1}, x_{c2}, x_{c3})$

x_{c3}) 分别为地表三个已知点坐标;

[0053] 计算卫星天线矢量 t_1 的公式为:

[0054] $t_1 = (0, H, L)$;

[0055] 式中, H 为卫星天线距离目标点的高度, L 为卫星天线与目标点的水平距离;

[0056] 计算地表的局部入射角 θ 的公式为:

[0057] $\theta = \arccos \frac{n_1 \cdot t_1}{|n_1| |t_1|}$ 。

[0058] 由于一个像素的对应地物的范围较大, 一次将一个像素分成四个部分可以较为准确的求得局部入射角。在该步骤中, 首先将一个像素分成四份, 在每1/4个像素上寻找3个三维坐标已知的点, 由这三个点求得两个矢量, 两个矢量叉积求得地表的法线。局部入射角 θ 即为天线矢量与地表法线的夹角。因为每一个像素点被分成了4份, 所以, 在计算该像素点的地表真实 β 值时, 需要计算4个不同的地表真实 β 值, 再求取这4个值的平均值, 该平均值才为该像素点对应的地表真实 β 值。

[0059] 进一步的, 计算HH极化的后向散射系数 R_H 的公式为: $R_H = \frac{\cos\theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}$;

[0060] 计算VV极化的后向散射系数 R_V 的公式为: $R_V = \frac{(\epsilon_r - 1)(\sin^2\theta - \epsilon_r(1 + \sin^2\theta))}{(\epsilon_r \cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta})}$ 。

[0061] 有益效果

[0062] 本发明提供了一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法, 该方法通过将电磁散射模拟理论与极化SAR模型分解理论进行有机结合, 弥补了传统模型分解评价方法的缺陷, 从电磁波模拟的角度和模型分解的角度对分解算法进行评价, 该方法公平、公正, 可为不同的应用选择相应较优的模型分解方法提供参考, 同时也能为地表定量参数反演提供参考; 而且不需要外业测量, 节省财力和物力; 不受分解模型框架的制约, 任何基于模型的极化SAR分解都可用本专利提出的极化SAR模型分解评价方法进行评价; 同时不受分解方法限制散射分量为负值的限制, 可被广泛采用。

附图说明

[0063] 图1是本发明实施例提供的一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法的流程图;

[0064] 图2是本发明实施例中局部入射角示意图;

[0065] 图3是本发明实施例中基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法的算法流程图;

[0066] 图4是本发明实施例中L波段下球形冠状的针叶林的实验结果图;

[0067] 图5是本发明实施例中L波段下锥形冠状的针叶林的实验结果图;

[0068] 图6是本发明实施例中L波段下50%球形冠状与50%锥形冠状混合的针叶林实验结果图。

具体实施方式

[0069] 为了方便理解本发明方案的内容, 下面结合具体实施例予以详细阐述。

[0070] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,实验采用Freeman-Durden三分量分解方法(FD3),Yamaguchi四分量分解方法(Y40)以及附加物理约束的极化SAR模型分解方法(PCGMD)作为待评价极化SAR模型分解方法来对本发明方案进行验证。

[0071] 为了验证不同模型分解方法在不同场景中的表现,本发明实验采用如下Polsarpro模拟数据:1)球形冠状的针叶林场景;2)锥形冠状的针叶林场景;3)50%球形冠状与50%锥形冠状混合的针叶林场景;4)阔叶林场景;未做特殊说明,下文实例讨论的都为阔叶类型的低矮植被。

[0072] 分解方法建模有表面散射、二面角散射、体散射和螺旋散射,本实施例以表面散射模型来阐述。其中相干矩阵形式下的表面散射模型如下所示:

$$[0073] \quad T_{3S} = f_s \begin{bmatrix} 1 & \beta^* & 0 \\ \beta & |\beta|^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

[0074] 具体步骤为:

[0075] 步骤1:首先根据输入的地表电磁几何参数,雷达电磁波频率,计算地表的介电常数。

[0076] 计算介电常数的方法如下:

[0077] 首先计算自由水的介电常数,公式如下:

$$[0078] \quad \varepsilon_{fw} = \varepsilon_{w\infty} + \frac{\varepsilon_{w0} - \varepsilon_{w\infty}}{1 + (2\pi f\tau_w)^2}$$

[0079] 此处L波段的电磁波频率取1.3Hz,考虑在20℃情况下,取 $\varepsilon_{w\infty} = 4.9$, $\varepsilon_{w0} = 80.1$ 和 $2\pi\tau_w = 0.58 \times 10^{-10}$ s。

[0080] 再计算土壤纹理参数 γ :

$$[0081] \quad \gamma = 1.2748 - 0.00519S - 0.00152C$$

[0082] 式中, $S = 5.02\%$, $C = 47.38\%$ 。

[0083] 之后,根据地表湿度以及上述计算得到的自由水的介电常数和土壤纹理参数,计算地表的介电常数的实部,其半经验混合公式如下:

$$[0084] \quad \varepsilon_r' = \left[1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} \varepsilon_s^\alpha + m_v^y \varepsilon_{fw}^\alpha - m_v \right]^{1/\alpha}$$

[0085] 式中, m_v 的取值为0.1, $\rho_b = 1.1\text{g/cm}^3$, $\varepsilon_s = 4.5$, $\alpha = 0.65$, $\rho_s = 2.66\text{g/cm}^3$ 。

[0086] 最后计算得到地表介电常数为:

$$[0087] \quad \varepsilon_r = 1.15\varepsilon_r' - 0.68.$$

[0088] 步骤2:计算完地表介电常数之后,接着依据地表的电磁几何参数和雷达卫星的位置参数,计算地表的法线,用数值模拟方法模拟地表,由于地表的三维坐标是已知的,选取在1/4个像素大小作为计算单元。首先在计算单元内选取3个三维坐标已知的点A、B、C,记它们坐标分别为A(x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}),B(x_{b1}, x_{b2}, x_{b3}),C(x_{c1}, x_{c2}, x_{c3})。由三个点计算可得两个矢量:

$$[0089] \quad \overrightarrow{AB} = (x_{b1} - x_{a1}, x_{b2} - x_{a2}, x_{b3} - x_{a3})$$

$$[0090] \quad \overrightarrow{AC} = (x_{c1} - x_{a1}, x_{c2} - x_{a2}, x_{c3} - x_{a3})$$

[0091] 通过上述两个矢量,可以计算单元内地表法线矢量 n_1 为:

$$[0092] \quad n_1 = \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC};$$

[0093] 接着计算卫星天线矢量 t_1 为:

$$[0094] \quad t_1 = (0, H, L),$$

[0095] 式中,H为卫星天线距离目标点的高度,L为卫星天线与目标点的水平距离;

[0096] 通过地表法线矢量和卫星天线矢量计算得到地表的局部入射角 θ 为:

$$[0097] \quad \theta = \arccos \frac{n_1 \cdot t_1}{|n_1| |t_1|}.$$

[0098] 步骤3:根据上述计算得到的地表介电常数和局部入射角,可以计算出HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V 为:

$$[0099] \quad R_H = \frac{\cos\theta - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}},$$

$$[0100] \quad R_V = \frac{(\varepsilon_r - 1)(\sin^2\theta - \varepsilon_r(1 + \sin^2\theta))}{(\varepsilon_r \cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta})}.$$

[0101] 步骤4:根据HH极化的后向散射系数 R_H 和VV极化的后向散射系数 R_V 计算得到值为:

$$[0102] \quad \beta = \frac{R_H - R_V}{R_H + R_V}.$$

[0103] 步骤5:利用Polsarpro软件模拟不同目标场景的数据,使用待评价极化SAR模型分解方法对数据进行处理,反演得到反演 β 值。

[0104] 步骤6:对于不同场景的全极化模拟数据进行模型分解时,待评价极化SAR模型分解方法中,部分模型分解方法是在相干矩阵下进行的,而另一些模型分解方法是在协方差矩阵形式下进行的。为了方便后续利用统一的 β 值进行模型分解评价,需要将协方差矩阵形式下定义的 β' 值转换为相干矩阵形式下定义的 β 值。

[0105] 在本实施例中,协方差矩阵形式下的表面散射模型如下:

$$[0106] \quad C_{3S} = f'_s \begin{bmatrix} |\beta'|^2 & 0 & \beta' \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta'^* & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0107] 式中, f'_s 为协方差矩阵形式下表面散射的系数。

[0108] 将协方差矩阵形式下的表面散射模型转换为相干矩阵的西矩阵形式为:

$$[0109] \quad U_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix},$$

[0110] 将式 $C_{3S} = f'_s \begin{bmatrix} |\beta'|^2 & 0 & \beta' \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta'^* & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 和式 $U_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix}$ 代入到式

$T_{3S} = U_3 C_{3S} U_3^{-1}$ 中,即可求得相干矩阵形式下的表面散射模型:

$$[0111] \quad T_{3S} = f_s \begin{bmatrix} 1 & \beta^* & 0 \\ \beta & |\beta|^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

[0112] 之后,即可求解 β 值为:

$$[0113] \quad \beta = \frac{T_{3S}(2, 1)}{T_{3S}(1, 1)}$$

[0114] 式中, $T_{3S}(2,1)$ 指中的第2行第1个元素, $T_{3S}(1,1)$ 指中的第1行第1个元素。

[0115] 步骤7:计算不同目标场景反演得到的反演 β 值与地表真实 β 值的均方根误差:

$$[0116] \quad RMSE = \sqrt{\frac{(\text{反演}\beta\text{值}-\text{地表真实}\beta\text{值})^2}{n}}.$$

[0117] 步骤8:根据计算得到的不同均方根误差,以11个等级的湿度为横坐标,以均方根误差为纵坐标作图,不同的模型分解方法得到的不同曲线,如图4-6所示。

[0118] 步骤9:根据“均方根误差越小,模型分解算法效果越好”的原则,分析不同的分解算法在不同场景下的优势:

[0119] 1) 从实验结果图可以看出,无论哪种森林或是哪种低矮植被高度,附加物理约束的极化SAR模型分解方法反演得到的反演 β 值与地表真实 β 值更加贴近。对于这些场景来说,附加物理约束的极化SAR模型分解方法更适用。2) 对于针叶林场景,Freeman-Durden三分量分解方法效果是最好的,Yamaguchi四分量分解方法效果较差。3) 对于阔叶林场景,Yamaguchi四分量分解方法效果最好,Freeman-Durden三分量分解方法效果较差。

[0120] 综上所述,本发明提供了一种基于电磁散射模拟的极化SAR模型分解评价方法,该方法通过将电磁散射模拟理论与极化SAR模型分解理论进行有机结合,弥补了传统模型分解评价方法的缺陷,从电磁波模拟的角度和模型分解的角度对分解算法进行评价,该方法公平、公正,可为不同的应用选择相应较优的模型分解方法提供参考,同时也能为地表定量参数反演提供参考;而且不需要外业测量,节省财力和物力;不受分解模型框架的制约,任何基于模型的极化SAR分解都可用本专利提出的极化SAR模型分解评价方法进行评价;同时不受分解方法限制散射分量为负值的限制,可被广泛采用。

[0121] 以上所述仅为本发明的实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明精神和原则之内,所作任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

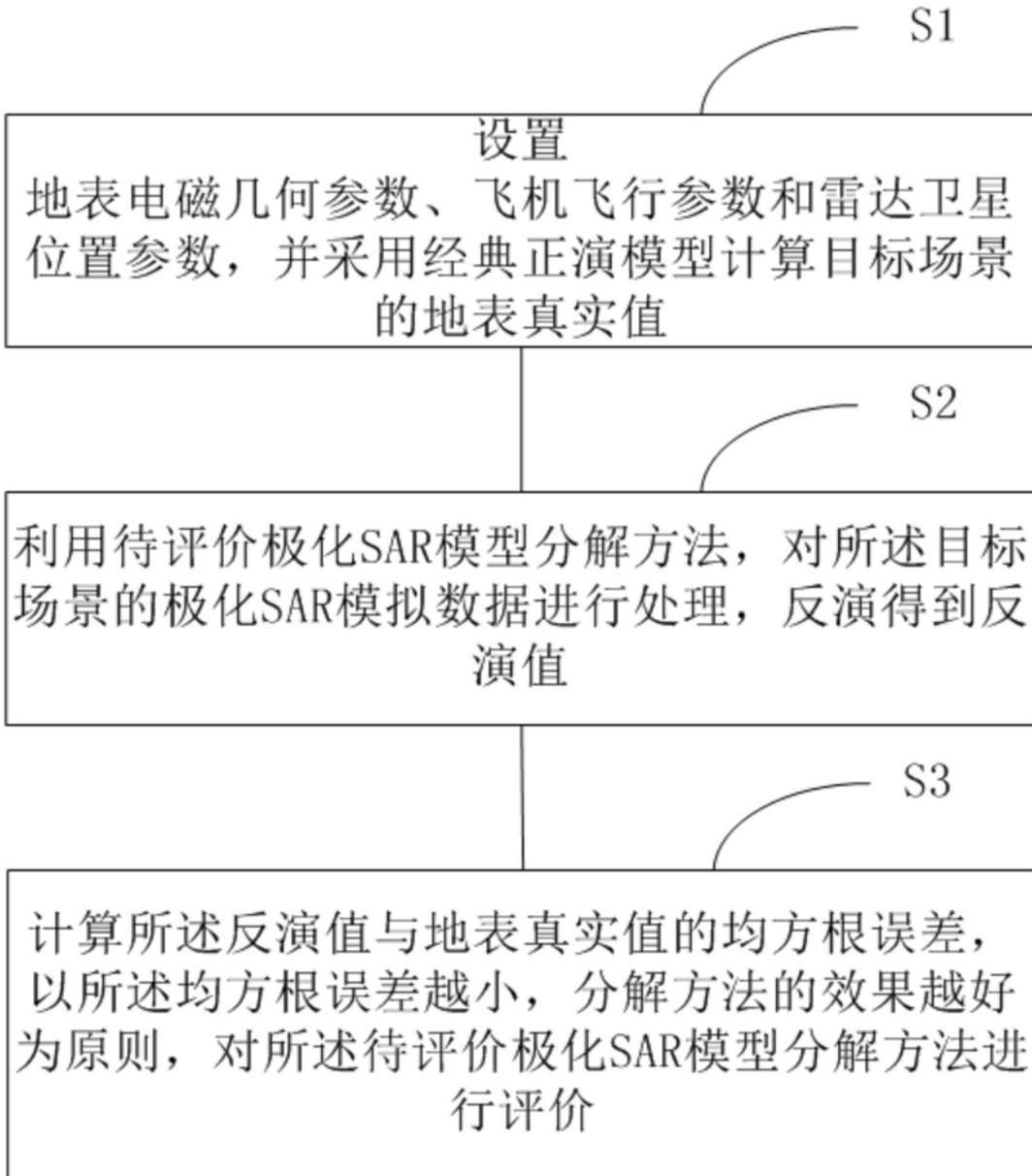


图1

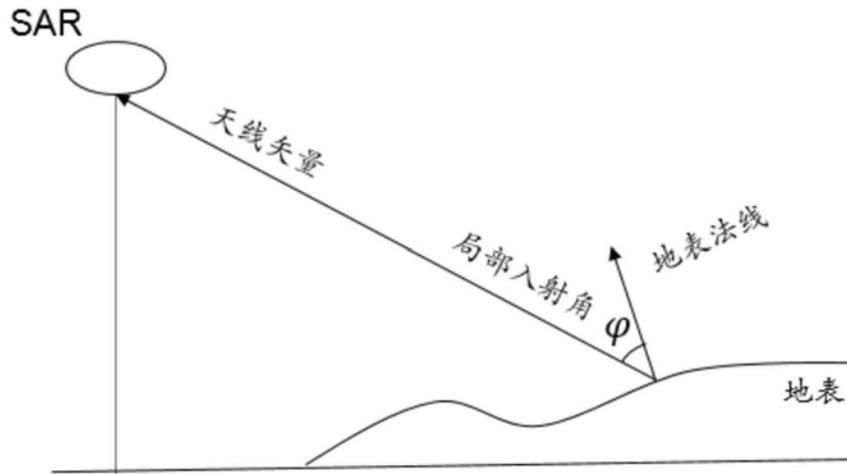


图2

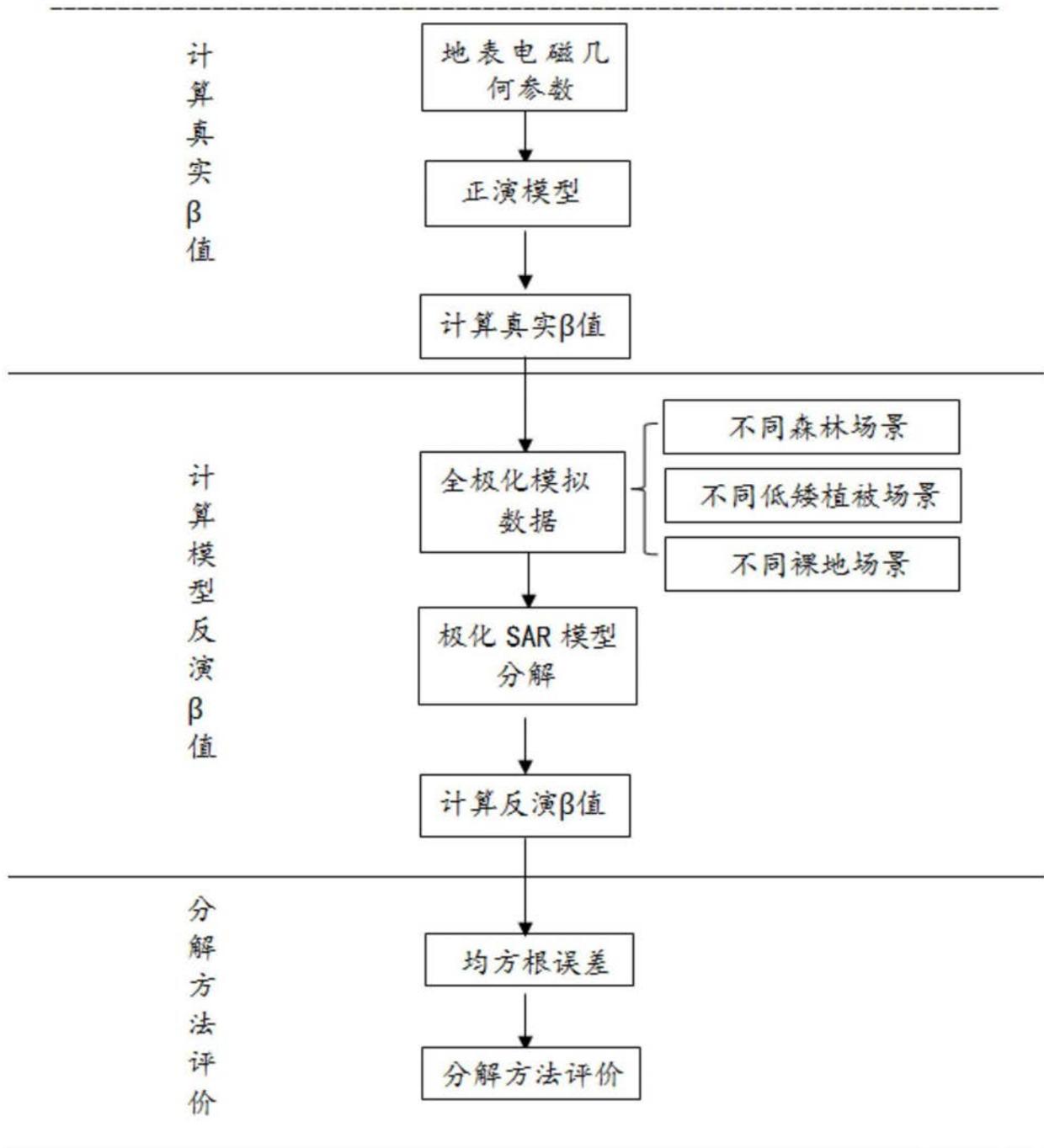


图3

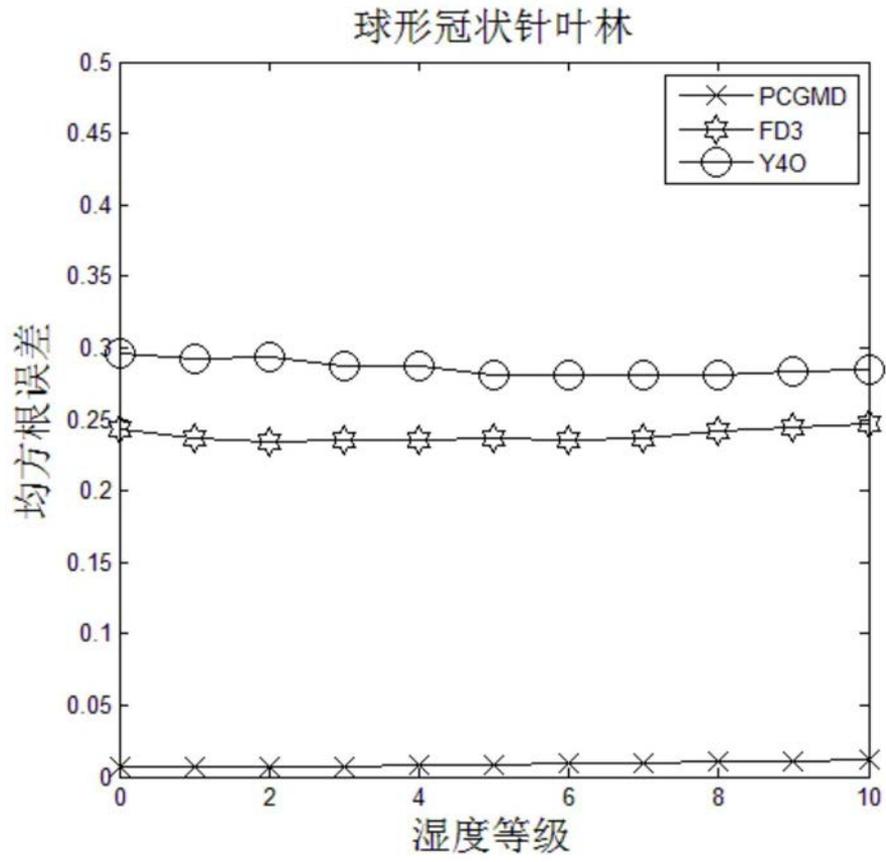


图4

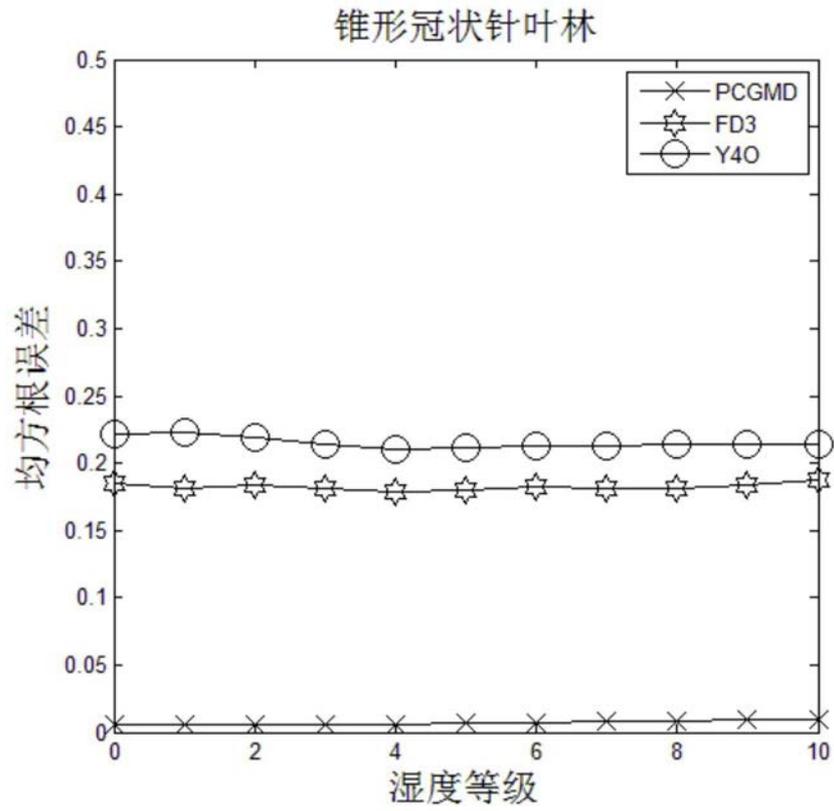


图5

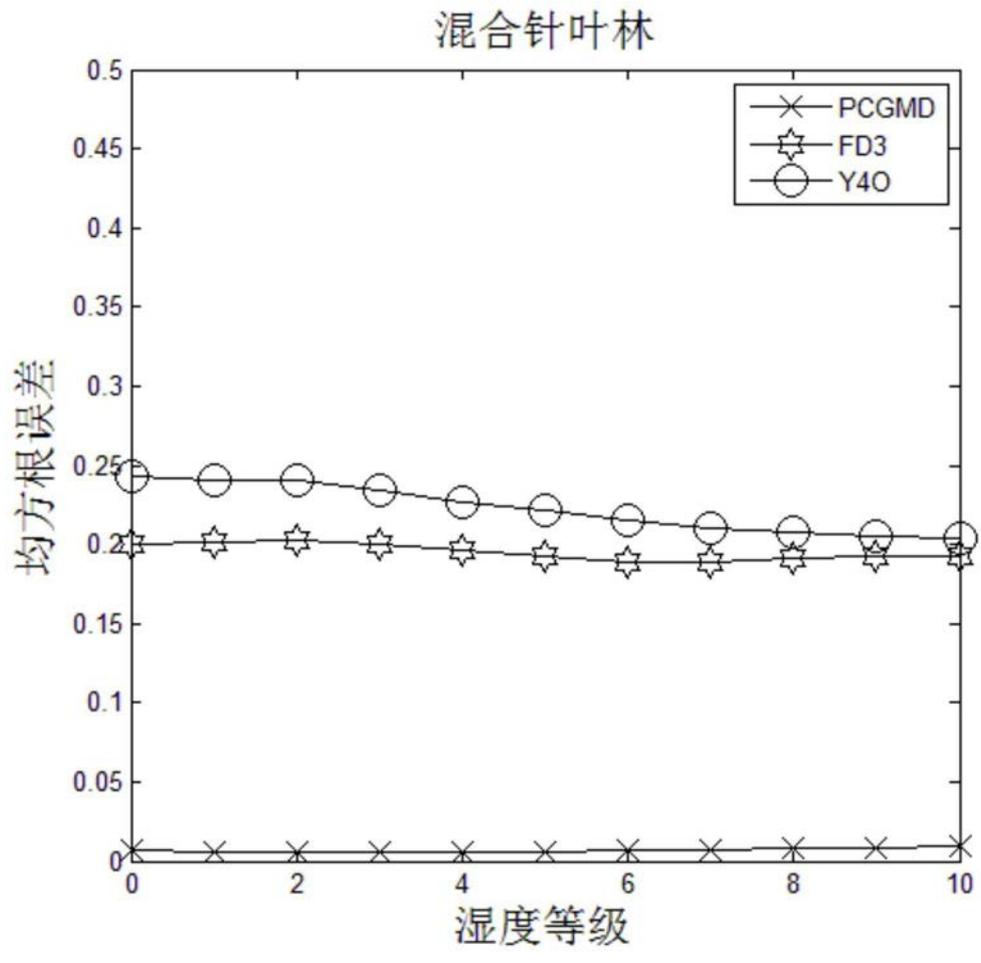


图6