



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109389571 B

(45)授权公告日 2020.03.17

(21)申请号 201710655794.9

G06K 9/62(2006.01)

(22)申请日 2017.08.03

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109389571 A

CN 106897679 A,2017.06.27,  
CN 104867150 A,2015.08.26,  
CN 105551031 A,2016.05.04,  
CN 106846246 A,2017.06.13,  
CN 103984946 A,2014.08.13,  
US 2013336540 A1,2013.12.19,  
US 2005007466 A1,2005.01.13,  
邓冰.遥感影像信息度量方法研究.《中国博  
士学位论文全文数据库(信息科技辑)》.2012,  
(第01期),

(43)申请公布日 2019.02.26

(73)专利权人 香港理工大学深圳研究院  
地址 518057 广东省深圳市南山区高新园  
南区粤兴一道18号香港理工大学产学  
研大楼205室

审查员 张俊

(72)发明人 史文中 邵攀

(74)专利代理机构 深圳中一专利商标事务所  
44237

代理人 官建红

(51)Int.Cl.

G06T 5/50(2006.01)

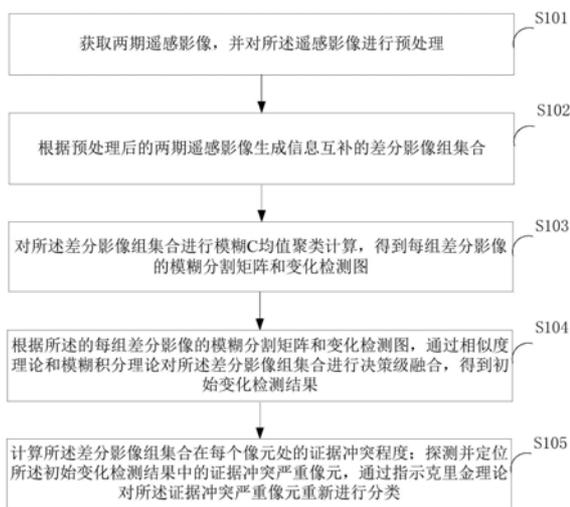
权利要求书3页 说明书16页 附图10页

(54)发明名称

一种遥感影像变化检测方法、装置及终端

(57)摘要

本发明适用于遥感技术领域,提供了一种遥感影像变化检测方法、装置及终端,通过对两期遥感影像进行预处理后生成信息互补的差分影像组集合;对差分影像组集合进行模糊C均值聚类得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;根据得到的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对差分影像组集合进行决策级融合,得到初始的变化检测结果;计算差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度,探测并定位初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,并通过指示克里金理论对证据冲突严重像元重新进行分类。基于信息互补的差分影像组集合和指示克里金理论,实现了提高遥感变化检测的可靠性和变化检测结果的精度。



1. 一种遥感影像变化检测方法,其特征在于,包括:

获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类;

其中,所述根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果的步骤,包括:

根据所述变化检测图,通过相似度理论计算每组差分影像的模糊测度以确定在融合过程中每组差分影像的重要程度;

根据所述模糊分割矩阵求解每组差分影像对像元的判断结果;

根据所述重要程度和所述判断结果,通过模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,将融合后的结果作为初始变化检测结果;

所述计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述的证据冲突严重像元重新进行分类的步骤,包括:

计算任意两组差分影像在每个像元处的证据冲突程度,根据所述证据冲突程度得到所述差分影像组集合在每个像元处的总证据冲突程度;

根据所述总证据冲突程度,通过自适应阈值技术将所述初始变化检测结果中的像元划分为两部分:证据几乎不冲突像元和证据冲突严重像元;

将所述证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果作为所述证据几乎不冲突像元的最终变化检测结果,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类,得到所述证据冲突严重像元的最终变化检测结果;

所述的通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类的步骤,包括:

通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于未变化类的概率;

通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于变化类的概率;

通过最大概率原则对所述证据冲突严重像元进行重新分类。

2. 如权利要求1所述的遥感影像变化检测方法,其特征在于,所述差分影像组集合由六组信息互补的差分影像组成;

所述根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合的步骤,具体为:

根据预处理后的两期遥感影像,通过欧氏距离公式计算得到第一组差分影像;

根据预处理后的两期遥感影像,通过闵可夫斯基距离公式计算得到第二组差分影像;

根据预处理后的两期遥感影像,通过马氏距离公式计算得到第三组差分影像;

根据预处理后的两期遥感影像,通过相关性距离公式计算得到第四组差分影像;

根据预处理后的两期遥感影像,通过主成分分析理论生成第五组差分影像;

根据预处理后的两期遥感影像,通过基于波普曲线形状的波普梯度差异生成第六组差分影像。

3. 一种遥感影像变化检测装置,其特征在于,包括:

预处理单元,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

差分影像组集合生成单元,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

模糊C均值聚类计算单元,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

决策级融合单元,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

证据冲突严重像元重分类处理单元,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类;

所述决策级融合单元包括:

重要程度确认子单元,用于根据所述变化检测图,通过相似度理论计算每组差分影像的模糊测度以确定在融合过程中每组差分影像的重要程度;

判断结果求解子单元,用于根据所述模糊分割矩阵求解每组差分影像对像元的判断结果;

决策级融合子单元,用于根据所述重要程度和所述判断结果,通过模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,将融合后的结果作为初始变化检测结果;

所述遥感影像变化检测装置还包括:

标准化处理单元,用于根据预设公式将每组差分影像的取值进行标准化使得其取值在预设取值区间范围之内;

所述决策级融合单元,还包括:

重要程度确认子单元,用于根据所述变化检测图,通过相似度理论计算每组差分影像的模糊测度以确定在融合过程中每组差分影像的重要程度;

判断结果求解子单元,用于根据所述模糊分割矩阵求解每组差分影像对像元的判断结果;

决策级融合子单元,用于根据所述重要程度和所述判断结果,通过模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,将融合后的结果作为初始变化检测结果;

所述证据冲突严重像元重分类处理单元,包括:

证据冲突程度计算子单元,用于计算任意两组差分影像在每个像元处的证据冲突程度,根据所述证据冲突程度得到所述差分影像组集合在每个像元处的总证据冲突程度;

证据冲突严重像元探测子单元,用于根据所述总证据冲突程度,通过自适应阈值技术将所述初始变化检测结果划分为两部分:证据几乎不冲突像元和证据冲突严重像元;

证据冲突严重像元重分类处理子单元,用于通过指示克里金技术对所述证据冲突严重像元重新进行分类;

所述证据冲突严重像元重分类处理子单元,具体用于:

通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于未变化类的概率;

通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于变化类的概率;

通过最大概率原则对所述证据冲突严重像元进行重新分类。

4. 如权利要求3所述的遥感影像变化检测装置,其特征在于,所述差分影像组集合由六组信息互补的差分影像组成;

所述差分影像组集合生成单元具体包括:

第一差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过欧氏距离公式计算得到第一组差分影像;

第二差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过闵可夫斯基距离公式计算得到第二组差分影像;

第三差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过马氏距离公式计算得到第三组差分影像;

第四差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过相关性距离公式计算得到第四组差分影像;

第五差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过主成分分析理论生成第五组差分影像;

第六差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过基于波普曲线形状的波普梯度差异生成第六组差分影像。

5. 一种终端设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1或2所述遥感影像变化检测方法的步骤。

6. 一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1或2所述遥感影像变化检测方法的步骤。

## 一种遥感影像变化检测方法、装置及终端

### 技术领域

[0001] 本发明属于遥感技术领域,尤其涉及一种遥感影像变化检测方法、装置及终端。

### 背景技术

[0002] 遥感变化检测是通过遥感影像获取地表变化信息的重要手段,已广泛渗透到国民经济的各个领域。最常用的遥感变化检测方法是基于“差分影像”的方法,该方法首先通过对比两期遥感影像生成差分影像,然后通过分析差分影像获取地表变化信息。

[0003] 由于遥感影像本身的复杂性,以及差异算子的局限性,使得生成的差分影像总是存在不确定性,影响了变化检测的效果。

[0004] 现有基于融合技术对多差分影像进行融合以提高变化检测的精度,但对证据冲突严重像元的处理效果依然较差,检测精度不高。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明实施例提供了一种遥感影像变化检测方法、装置及终端,以降低现有差分影像变化检测的不确定性,提高遥感影像变化检测的可靠性和变化检测结果的精度。

[0006] 本发明实施例的第一方面提供了一种遥感影像变化检测方法,包括:

[0007] 获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0008] 根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0009] 对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0010] 根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0011] 计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0012] 本发明实施例的第二方面提供了一种遥感影像变化检测装置,包括:

[0013] 预处理单元,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0014] 差分影像组集合生成单元,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0015] 模糊C均值聚类计算单元,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0016] 决策级融合单元,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0017] 证据冲突严重像元重分类处理单元,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处

的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0018] 本发明实施例的第三方面提供了一种终端,包括:

[0019] 存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其中,所述处理器执行所述计算机程序时实现本发明实施例的第一方面提供的遥感影像变化检测方法的步骤。

[0020] 其中,所述计算机程序包括:

[0021] 预处理单元,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0022] 差分影像组集合生成单元,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0023] 模糊C均值聚类计算单元,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0024] 决策级融合单元,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0025] 证据冲突严重像元重分类处理单元,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0026] 本发明实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其中,所述计算机程序被处理器执行时实现本发明实施例的第一方面提供的遥感影像变化检测方法的步骤。

[0027] 其中,所述计算机程序包括:

[0028] 预处理单元,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0029] 差分影像组集合生成单元,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0030] 模糊C均值聚类计算单元,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0031] 决策级融合单元,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0032] 证据冲突严重像元重分类处理单元,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0033] 本发明实施例与现有技术相比存在的有益效果是:首先从距离矩阵的角度,提出一种生成信息互补差分影像组集合的方案,充分提取两期遥感影像的变化信息;其次通过相似度理论和模糊积分理论实现对所述差分影像组集合的决策级融合;然后利用指示克里金技术对所述融合结果进行优化,重新分类融合结果中的证据冲突严重像元。通过以上三点实现了提高变化检测的可靠性和变化检测结果的精度。

## 附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0035] 图1是本发明实施例提供的一种遥感影像变化检测方法的实现流程图;

[0036] 图2是本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法中步骤S104的具体实现流程图;

[0037] 图3是本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法中步骤S105的具体实现流程图;

[0038] 图4是本发明实施例提供的一种利用指示克里金理论对证据冲突严重像元重新进行分类的方法具体实现流程图;

[0039] 图5是一个 $7 \times 7$ 的克里金窗口示意图;

[0040] 图6(a)是本发明实施例提供的 $T_1$ 时刻遥感影像第4波段的示意图;

[0041] 图6(b)是本发明实施例提供的 $T_2$ 时刻遥感影像第4波段的示意图;

[0042] 图6(c)是本发明实施例提供的 $T_1$ 时刻和 $T_2$ 时刻遥感影像的变化参考图;

[0043] 图7(a)是模糊C均值根据差分影像 $DI_1$ 得到的变化检测图;

[0044] 图7(b)是模糊C均值根据差分影像 $DI_2$ 得到的变化检测图;

[0045] 图7(c)是模糊C均值根据差分影像 $DI_3$ 得到的变化检测图;

[0046] 图7(d)是模糊C均值根据差分影像 $DI_4$ 得到的变化检测图;

[0047] 图7(e)是模糊C均值根据差分影像 $DI_5$ 得到的变化检测图;

[0048] 图7(f)是模糊C均值根据差分影像 $DI_6$ 得到的变化检测图;

[0049] 图7(g)是通过融合技术投票法得到的变化检测结果示意图;

[0050] 图7(h)是通过融合技术模糊积分法得到的变化检测结果示意图;

[0051] 图7(i)是本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法得到的变化检测结果示意图;

[0052] 图8是本发明实施例提供的一种遥感影像变化检测装置的示意图;

[0053] 图9是本发明实施例提供的一种终端的示意图。

## 具体实施方式

[0054] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其他实施例中也可以实现本发明。在其他情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0055] 为了说明本发明所述的技术方案,下面通过具体实施例来进行说明。请参考图1,图1示出了本发明实施例提供的一种遥感影像变化检测方法的实现流程,详述如下:

[0056] 在步骤S101中,获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理。

[0057] 在本发明实施例中,所述两期遥感影像分别为 $T_1$ 时刻和 $T_2$ 时刻的遥感影像,其中, $T_1 \neq T_2$ 。

[0058] 所述预处理为遥感领域中的基础步骤,包括但不限于配准和辐射校正等。

[0059] 在步骤S102中,根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合。

[0060] 在本发明实施例中,所述信息互补,是指所提取的信息具有互补性,能够充分反应两期遥感影像的变化。

[0061] 在这里,上述步骤S102具体为,根据预处理后的两期遥感影像从距离矩阵的角度生成信息互补的差分影像组集合。所述差分影像组集合具体是指由六组信息互补的差分影像所组成的集合。

[0062] 在这里,为便于描述,将进行预处理后的 $T_1$ 时刻的遥感影像记为 $X_1$ ,将进行预处理后的 $T_2$ 时刻的遥感影像记为 $X_2$ 。所述的进行预处理后的两期遥感影像 $X_1$ 和 $X_2$ 均包括 $B$ 个波段, $X_m^b$ 表示 $X_m$ 的第 $b$ 个波段, $1 < b \leq B, m = 1, 2$ 。

[0063] 为充分提取两期遥感影像 $X_2$ 和 $X_1$ 的变化信息,并使所提取的信息具有互补性,本发明选取典型的距离度量生成六组差分影像:用 $DI = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_6\}$ 表示所生成的差分影像组集合,其中, $DI_n$ 表示第 $n$ 组差分影像, $n = 1, 2, \dots, 6$ 。其中差分影像是逐像元计算的,用 $p(i, j)$ 表示坐标值为 $(i, j)$ 的像元。

[0064] 其中,第一组差分影像 $DI_1$ 由使用最广泛的变化矢量分析技术生成,其本质上是根据欧氏距离公式以及两期遥感影像 $X_2$ 和 $X_1$ 所计算得到的欧氏距离:

$$DI_1(i, j) = \sqrt{\sum_{b=1}^B (X_2^b(i, j) - X_1^b(i, j))^2}, \text{ 这里 } DI_1(i, j) \text{ 表示第一组差分影像 } DI_1 \text{ 在像元 } p(i, j)$$

的取值。

[0065] 第二组差分影像 $DI_2$ 为根据闵可夫斯基距离公式以及两期遥感影像 $X_2$ 和 $X_1$ 所计算得到的闵可夫斯基距离,即 $DI_2(i, j) = \left( \sum_{b=1}^B |X_2^b(i, j) - X_1^b(i, j)|^p \right)^{1/p}$ ,其中, $p$ 为变化参数, $p \geq 1$ ,

在这里,优选 $p = 10$ 。

[0066] 第三组差分影像 $DI_3$ 为根据马氏距离公式以及两期遥感影像 $X_2$ 和 $X_1$ 所计算得到的马氏距离,用符号 $\Sigma_{DX}$ 表示变化矢量 $DX = (|X_2^1 - X_1^1|, |X_2^2 - X_1^2|, \dots, |X_2^B - X_1^B|)$ 的协方差矩阵,则 $DI_3(i, j) = \sqrt{DX(i, j) (\Sigma_{DX})^{-1} DX(i, j)^T}$ ,这里 $(\Sigma_{DX})^{-1}$ 为 $\Sigma_{DX}$ 的逆矩阵, $DX(i, j)^T$ 为 $DX(i, j)$ 的转置。

[0067] 第四组差分影像 $DI_4$ 为根据相关系数以及两期遥感影像 $X_2$ 和 $X_1$ 所计算得到的相关性距离:首先计算 $X_2(i, j)$ 和 $X_1(i, j)$ 的相关系数 $\rho(X_2(i, j), X_1(i, j))$ :

$$[0068] \quad \rho(X_2(i, j), X_1(i, j)) = \frac{\sum_{b=1}^B (X_2^b(i, j) - \overline{X_2(i, j)}) \cdot (X_1^b(i, j) - \overline{X_1(i, j)})}{\sqrt{\sum_{b=1}^B (X_2^b(i, j) - \overline{X_2(i, j)})^2} \cdot \sqrt{\sum_{b=1}^B (X_1^b(i, j) - \overline{X_1(i, j)})^2}},$$

[0069] 这里 $\rho(X_2(i, j), X_1(i, j))$ 的取值范围为-1到1, $\overline{X_2(i, j)}$ 为 $X_2(i, j)$ 各个波段的均值, $\overline{X_1(i, j)}$ 为 $X_1(i, j)$ 各个波段的均值, $1 < b \leq B, B$ 为 $X_1$ 或 $X_2$ 中包含的波段个数;那么 $DI_4(i, j)$

$= 1 - \rho(X_2(i, j), X_1(i, j))$ 。

[0070] 第五组差分影像DI<sub>5</sub>通过将主成分分析理论应用到两期遥感影像X<sub>2</sub>和X<sub>1</sub>生成:首先通过比值算子求取两期遥感影像X<sub>2</sub>和X<sub>1</sub>的比值变化矢量

$RX = \left( \left| 1 - \left( X_2^1 / X_1^1 \right) \right|, \left| 1 - \left( X_2^2 / X_1^2 \right) \right|, \dots, \left| 1 - \left( X_2^B / X_1^B \right) \right| \right)$ , 然后计算该比值变化矢量RX的协方差

矩阵  $\Sigma_{RX}$ ; 假设  $\Sigma_{RX}$  的特征根分别为  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_F$ , 且满足  $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \dots \geq \beta_F \geq 0$ , 其中F表示矩阵RX的特征根个数,  $F > 0$ 。同时假设  $\Sigma_{RX}$  的各个特征根对应的标准正交特征向量为  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_F$ , 则比值变化矢量RX的第f个主成分为  $Y_f = \gamma_f R X^T$ ,  $f = 1, 2, \dots, F$ , 其中,  $R X^T$  为RX的转置; 将各主成分的方差贡献率作为权值, 对比值变化矢量RX的各主成分进行加权平均生

成第五组差分影像DI<sub>5</sub>:  $DI_5(i, j) = \sum_{f=1}^F \alpha_f Y_f(i, j)$ , 其中,  $\alpha_f = \beta_f / (\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_F)$ , 这里  $\alpha_f$  为第f个主成分的方差贡献率。

[0071] 第六组差分影像DI<sub>6</sub>基于波谱形状信息, 根据波谱曲线的波谱梯度差异生成: 首先分别计算两期遥感影像X<sub>2</sub>和X<sub>1</sub>的波谱梯度矢量  $G_2 = (g_2^1, g_2^2, \dots, g_2^{B-1})$  和  $G_1 = (g_1^1, g_1^2, \dots, g_1^{B-1})$ ,

其中  $g_m^b = \frac{X_m^{b+1} - X_m^b}{\lambda_{b+1} - \lambda_b}$ ;  $m = 1, 2; b = 1, 2, \dots, B-1$ , 这里  $\lambda_b$  为第b个波段的波长; 然后结合欧氏距

离公式以及波谱梯度矢量G<sub>1</sub>和G<sub>2</sub>生成第六组差分影像DI<sub>6</sub>, 即  $DI_6(i, j) = \left( \sum_{b=1}^{B-1} (g_2^b - g_1^b)^2 \right)^{1/2}$ 。

[0072] 优选的, 为避免各组差分影像间可能存在的不稳定性和不一致性, 步骤S102还包括标准化过程: 根据预设公式将每组差分影像的取值进行标准化使得其取值在预设取值区间范围之内。具体的, 在得到差分影像组集合DI后, 通过公式

$DI_n = \text{int} \left( \frac{DI_n - \min(DI_n)}{\max(DI_n) - \min(DI_n)} \cdot 255 \right)$  将每组差分影像的取值标准化到[0, 255]区间, 这里n

$= 1, 2, \dots, 6$ ,  $\max(DI_n)$  和  $\min(DI_n)$  分别表示第n组差分影像DI<sub>n</sub>的最大值和最小值, int表示取整运算。

[0073] 在步骤S103中, 对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算, 得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图。

[0074] 在本发明实施例中, 分别对所生成的六组差分影像DI = {DI<sub>1</sub>, DI<sub>2</sub>, ..., DI<sub>6</sub>} 实施模糊C均值聚类计算, 得到每组差分影像DI<sub>n</sub>的模糊分割矩阵U<sub>n</sub>和变化检测图CD<sub>n</sub>。

[0075] 步骤S103是对差分影像组集合如所生成的六组差分影像进行决策级融合的准备阶段。在这里, 模糊C均值(fuzzy c-means, FCM)聚类是遥感领域的基础技术, 模糊分割矩阵  $U_n = [u_n^{w_u}(i, j), u_n^{w_c}(i, j)]^T$ , 变化检测图  $CD_n = CD_n(i, j)$ 。其中, 上标T表示转置,  $n = 1, 2, \dots, 6$ ,  $u_n^{w_u}(i, j)$  表示FCM根据每组差分影像DI<sub>n</sub>得到的像元p(i, j)属于未变化类w<sub>u</sub>的隶属度;  $u_n^{w_c}(i, j)$  表示FCM根据每组差分影像DI<sub>n</sub>得到的像元p(i, j)属于变化类w<sub>c</sub>的隶属度; 变化检测图CD<sub>n</sub>在像元p(i, j)处的取值通过最大隶属度原则得到:

$$CD_n(i, j) = \begin{cases} 1 & u_n^{w_c}(i, j) < u_n^{w_u}(i, j) \\ 0 & u_n^{w_c}(i, j) \geq u_n^{w_u}(i, j) \end{cases}, \text{其中 } CD_n(i, j) = 1 \text{ 表示根据第 } n \text{ 组差分影像 } DI_n \text{ 像元 } p(i, j)$$

被标记为变化类,  $CD_n(i, j) = 0$  表示根据第  $n$  组差分影像  $DI_n$  像元  $p(i, j)$  被标记为未变化类。

[0076] 在步骤S104中,根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果。

[0077] 在本发明实施例中,根据所得到的每组差分影像的模糊分割矩阵  $U_n$  和变化检测图  $CD_n$ ,利用相似度理论和模糊积分理论对所生成的六组差分影像进行决策级融合,得到初始变化检测结果。

[0078] 在本发明实施例中,所述初始变化检测结果中,像元被分为变化类  $w_c$  和未变化类  $w_u$  这两种类别;每种类别中均包括证据冲突严重像元和证据几乎不冲突像元。

[0079] 作为本发明的一个优选示例,采用 Sugeno 模糊积分对所生成的六组差分影像进行决策级融合:将所述六组差分影像视作为六个信源,为对其进行 Sugeno 模糊积分融合,需要首先计算每个信源  $DI_n$  的 Sugeno 测度  $g_\lambda(DI_n)$  和信源  $DI_n$  对每个像元  $p(i, j)$  的判断结果  $n=1, 2, \dots, 6$ 。

[0080] 图2示出了本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法中步骤S104的具体实现流程。

[0081] 参阅图2,所述步骤S104具体包括:

[0082] 在步骤S201中,根据所述变化检测图  $CD_n$ ,通过相似度理论计算每组差分影像  $DI_n$  的模糊测度以确定在融合过程中每组差分影像  $DI_n$  的重要程度。

[0083] 在本发明实施例中,根据变化检测图  $CD_n, n=1, 2, \dots, 6$ ,采用相似度理论计算每组差分影像  $DI_n$  的模糊测度。

[0084] 在这里,模糊测度特指 Sugeno 测度,每组差分影像  $DI_n$  的 Sugeno 测度  $g_\lambda(DI_n), n=1, 2, \dots, 6$ ,表示在融合过程中信源  $DI_n$  的重要程度,即  $g_\lambda(DI_n)$  表示在融合过程中每组差分影像  $DI_n$  的重要程度。

[0085] 变化检测图  $CD_n$  的相似度能够在很大程度上反映每组差分影像  $DI_n$  的重要程度,本发明实施例中采用相似度来定义每组差分影像  $DI_n$  的 Sugeno 测度。研究区内通常只有较少的像元发生变化,若使用检测图的所有像元来定义相似度,则会降低相似度对检测图差异的敏感性。为此,本发明实施例采用杰卡德相似度理论计算每组差分影像  $DI_n$  的 Sugeno 测度  $g_\lambda(DI_n), n=1, 2, \dots, 6$ ,即采用杰卡德距离定义不同检测图之间的相似度:

[0086] 对变化检测图  $CD_n$  和  $CD_m, m, n=1, 2, \dots, 6$  且  $m \neq n$ ;用  $M_{00}$  表示  $CD_n$  和  $CD_m$  的取值同时为 0 的像元数目,  $M_{01}$  表示  $CD_n$  的取值为 0 而  $CD_m$  的取值为 1 的像元数目,  $M_{10}$  表示  $CD_n$  取值为 1 而  $CD_m$  的取值为 0 的像元数目,  $M_{11}$  表示  $CD_n$  和  $CD_m$  的取值同时为 1 的像元数目,那么根据杰卡德相似度理论计算得到  $CD_n$  和  $CD_m$  的相似度  $J(CD_n, CD_m)$  为:

$$[0087] \quad J(CD_n, CD_m) = \frac{M_{11}}{M_{10} + M_{01} + M_{11}}$$

[0088] 然后通过计算相似度  $J(CD_n, CD_m)$  关于  $m$  的平均值可为变化检测图  $CD_n$  定义一个总相似度  $J(CD_n)$ :

$$[0089] \quad J(CD_n) = \frac{1}{5} \sum_{m=1, m \neq n}^6 J(CD_n, CD_m)$$

[0090] 其中 $m, n=1, 2, \dots, 6$ 且 $m \neq n$ ;变化检测图 $CD_n$ 的总相似度 $J(CD_n)$ 描述其与其他5组变化检测图的总一致程度,能够反映信源 $DI_n$ 的可靠性,本发明实施例中采用 $J(CD_n)$ 来定义差分影像 $DI_n$ 对融合结果的重要程度,令 $g_\lambda(DI_n) = J(CD_n)$ 。

[0091] 在步骤S202中,根据所述模糊分割矩阵 $U_n$ 求解每组差分影像 $DI_n$ 对像元 $p(i, j)$ 的判断结果。

[0092] 在本发明实施例中,利用模糊分割矩阵 $U_n = [u_n^{w_u}(i, j), u_n^{w_c}(i, j)]^T$ 来求解信源 $DI_n$ 对像元 $p(i, j)$ 的判断结果,该判断结果包括像元被标记为变化类的概率和被标记为未变化类的概率的判断结果,即像元关于变化类或未变化类的判断结果。在这里,使用符号 $h_n(i, j) = [h_n^{w_u}(i, j), h_n^{w_c}(i, j)]^T$ 表示信源 $DI_n$ 对像元 $p(i, j)$ 的判断结果,其中, $h_n^{w_u}(i, j)$ 表示根据信源 $DI_n$ 像元 $p(i, j)$ 被标记为未变化类 $w_u$ 的概率, $h_n^{w_c}(i, j)$ 表示根据信源 $DI_n$ 像元 $p(i, j)$ 被标记为变化类 $w_c$ 的概率。并令 $h_n^k(i, j) = u_n^k(i, j), k \in \{w_u, w_c\}, n=1, 2, \dots, 6$ ,其中 $u_n^k(i, j)$ 表示模糊C均值通过信源 $DI_n$ 得到的像元 $p(i, j)$ 属于类别 $k$ 的隶属度,这里 $k \in \{w_u, w_c\}$ , $w_u$ 表示未变化类, $w_c$ 表示变化类。

[0093] 在步骤S203中,根据所述重要程度 $g_\lambda(DI_n)$ 和所述判断结果 $h_n(i, j)$ ,通过模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,将融合后的结果作为初始变化检测结果。

[0094] 在本发明实施例中,利用Sugeno积分对所生成的六组差分影像 $DI = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_6\}$ 进行决策级融合,得到初始变化检测结果。

[0095] 在这里,将所述六组差分影像视作为六个信源,为便于描述,将差分影像组 $DI_n$ 对应描述为信源 $DI_n$ ,差分影像组集合对应描述为信源集合。

[0096] 对任给像元 $p(i, j)$ ,其对应两种类型的数值:信源的重要程度和信源对像元的判断结果。Sugeno积分通过非线性策略对两种数值进行集成,并根据集成结果做出决策,具体的:

[0097] 对未变化类 $w_u$ ,首先重新排序信源集合 $DI = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_6\}$ ,使得其满足条件 $h_1^{w_u}(i, j) \geq h_2^{w_u}(i, j) \geq \dots \geq h_6^{w_u}(i, j)$ ;然后对排序后的信源集合 $DI = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_6\}$ 定义集合序列 $A_n = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_n\}, n=1, 2, \dots, 6$ ,并通过下式计算集合 $A_n$ 的Sugeno测度 $g_\lambda(A_n)$ :

$$[0098] \quad \begin{cases} g_\lambda(A_1) = g_\lambda(DI_1) \\ g_\lambda(A_n) = g_\lambda(DI_n) + g_\lambda(A_{n-1}) + \lambda \cdot g_\lambda(DI_n) \cdot g_\lambda(A_{n-1}) \end{cases}$$

[0099] 其中, $\lambda$ 表示两个元素之间的相互作用程度, $\lambda > -1$ 且 $\lambda \neq 0$ ,可通过求解方程

$\lambda + 1 = \prod_{n=1}^6 (\lambda \cdot g_\lambda(DI_n) + 1)$ 得到 $\lambda$ 。那么,Sugeno积分关于未变化类融合差分影像组集合的过程,即计算所述像元 $p(i, j)$ 关于未变化类 $w_u$ 的模糊积分 $FI^{w_u}(i, j)$ ,可通过下式计算得到:

$$[0100] \quad FI^{w_u}(i, j) = \max_{n=1}^6 \left\{ \min[h_n^{w_u}(i, j), g_\lambda(A_n)] \right\}$$

[0101] 其中,  $\max$ 表示取最大值运算,  $\min$ 表示取最小值运算。所述像元 $p(i, j)$ 关于变化类 $w_c$ 的模糊积分 $FI^{w_c}(i, j)$ 可通过相同的计算步骤得到。

[0102] 在得到像元 $p(i, j)$ 关于未变化类 $w_u$ 和变化类 $w_c$ 的模糊积分 $FI^{w_u}(i, j)$ 和 $FI^{w_c}(i, j)$ 之后,通过下式对其分配类别,即将像元分为变化类或未变化类,从而得到初始变化检测结果:

$$[0103] \quad L(i, j) = \begin{cases} w_u & \text{当 } FI^{w_u}(i, j) \geq FI^{w_c}(i, j) \text{ 时} \\ w_c & \text{当 } FI^{w_u}(i, j) < FI^{w_c}(i, j) \text{ 时} \end{cases}$$

[0104] 其中,  $L(i, j) = w_u$ 表示将像元 $p(i, j)$ 标记为未变化类;  $L(i, j) = w_c$ 表示将像元 $p(i, j)$ 标记为变化类。

[0105] 在这里,通过Sugeno积分能够有效地完成多源信息的融合,然而当不同信源提供的证据冲突严重时,通过Sugeno积分不能得到理想的变化检测结果。为此,需进一步处理初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,对其重新分配类别,即对证据冲突严重像元重新进行判断以确定其是否发生了变化,将其重新划分为变化类像元或未变化类像元,以进一步提高变化检测的可靠性和变化检测结果的精度。

[0106] 在步骤S105中,计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0107] 这里证据冲突程度指的是各个信源判断结果之间的不一致程度。例如,对任给像元 $p(i, j)$ ,可能三组信源认为其发生了变化,而另外三组信源认为其未发生变化,这是六组信源判断结果之间不一致最严重的情形,即证据冲突最严重的情形。

[0108] 需要指出的是,步骤S105根据证据冲突程度将像元划分为证据冲突严重像元和证据几乎不冲突像元两部分;然后只对证据冲突严重像元重新分配类别,而对证据几乎不冲突像元,其初始变化检测结果被作为最终的变化检测结果。

[0109] 图3示出了本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法中步骤S105的具体实现流程。参阅图3,步骤S105包括:

[0110] 在步骤S301中,计算任意两组差分影像在每个像元处的证据冲突程度,根据所述证据冲突程度得到所述差分影像组集合在每个像元处的总证据冲突程度。

[0111] 在本发明实施例中,计算信源集合 $DI = \{DI_1, DI_2, \dots, DI_6\}$ 在每个像元处的证据冲突程度。

[0112] 任给像元 $p(i, j)$ ,首先计算两两信源之间的证据冲突程度,而后求取它们的平均值,并将所求取得到的平均值作为像元 $p(i, j)$ 的总证据冲突程度。

[0113] 用 $K_{gh}(i, j)$ 表示信源 $DI_g$ 和信源 $DI_h$ 在像元 $p(i, j)$ 处的证据冲突程度,  $g, h = 1, 2, \dots, 6$ 且 $g \neq h$ ;则 $K_{gh}(i, j)$ 可通过下式计算:

$$[0114] \quad K_{gh}(i, j) = u_g^{w_u}(i, j) \cdot u_h^{w_c}(i, j) + u_g^{w_c}(i, j) \cdot u_h^{w_u}(i, j)$$

[0115] 在这里,  $u_g^{w_u}(i, j)$ 表示FCM根据信源 $DI_g$ 得到的像元 $p(i, j)$ 属于未变化类 $w_u$ 的隶属度;  $u_g^{w_c}(i, j)$ 表示FCM通过信源 $DI_g$ 得到的像元 $p(i, j)$ 属于变化类 $w_c$ 的隶属度;  $u_h^{w_u}(i, j)$ 表示FCM

通过信源 $DI_h$ 得到的像元 $p(i, j)$ 属于未变化类 $w_u$ 的隶属度； $u_h^{w_c}(i, j)$ 表示FCM通过信源 $DI_h$ 得到的像元 $p(i, j)$ 属于变化类 $w_c$ 的隶属度。

[0116] 将计算得到的所有 $K_{gh}(i, j)$ ,  $g, h=1, 2, \dots, 6$ 且 $g \neq h$ , 进行求平均值运算求解总证据冲突程度 $K(i, j)$ ： $K(i, j) = \frac{1}{30} \sum_{g=1}^6 \sum_{h=1, h \neq g}^6 K_{gh}(i, j)$ 。若 $K(i, j)$ 的取值越大, 则说明六个信源在

像元 $p(i, j)$ 处的证据冲突程度越高。本发明根据此性质探测并定位证据冲突严重像元。

[0117] 在步骤S302中, 根据所述总证据冲突程度将所述初始变化检测结果中的像元划分为两部分: 证据冲突严重像元和证据几乎不冲突像元。

[0118] 在本发明实施例中, 通过自适应阈值技术探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元, 从而将初始变化检测结果中的像元划分为证据冲突严重像元和证据几乎不冲突像元两部分。

[0119] 具体的, 分别用 $FI_u$ 和 $FI_c$ 表示Sugeno积分融合结果,  $FI_u$ 表示未变化类像元的集合,  $FI_c$ 表示变化类像元的集合, 即初始变化检测结果中的未变化类像元组成的集合 $FI_u$ 和变化类像元组成的集合 $FI_c$ , 并采用自适应阈值技术探测定位集合 $FI_u$ 和 $FI_c$ 中的证据冲突严重像元, 其中集合 $FI_u$ 和 $FI_c$ 具体表示如下:

$$[0120] \quad \begin{cases} FI_u = \{p(i, j) | FI^{w_u}(i, j) \geq FI^{w_c}(i, j)\} \\ FI_c = \{p(i, j) | FI^{w_u}(i, j) < FI^{w_c}(i, j)\} \end{cases}$$

[0121] 为叙述方便, 用符号 $\mathfrak{R}^{FI_u} = \{K(i, j) | p(i, j) \in FI_u\}$ 表示集合 $FI_u$ 中像元的总证据冲突程度 $K(i, j)$ 组成的集合, 并用 $Mean(\mathfrak{R}^{FI_u})$ 和 $Std(\mathfrak{R}^{FI_u})$ 表示 $\mathfrak{R}^{FI_u}$ 的均值和标准差; 用符号 $\mathfrak{R}^{FI_c} = \{K(i, j) | p(i, j) \in FI_c\}$ 表示集合 $FI_c$ 中像元的总证据冲突程度 $K(i, j)$ 组成的集合, 并用 $Mean(\mathfrak{R}^{FI_c})$ 和 $Std(\mathfrak{R}^{FI_c})$ 表示集合 $\mathfrak{R}^{FI_c}$ 的均值和标准差; 将 $FI_u$ 中的证据冲突严重像元构成的集合记作 $Con^{FI_u}$ 和将 $FI_c$ 中的证据冲突严重像元构成的集合记作 $Con^{FI_c}$ 。本发明实施例中采用均值 $Mean(\mathfrak{R}^{FI_u})$ 和标准差 $Std(\mathfrak{R}^{FI_u})$ 来定义集合 $Con^{FI_u}$ ：

$$[0122] \quad Con^{FI_u} = \{p(i, j) \in FI_u | K(i, j) > Mean(\mathfrak{R}^{FI_u}) + T_u \cdot Std(\mathfrak{R}^{FI_u})\}$$

[0123] 这里 $T_u$ 为正整数, 且满足 $T_u$ 取值越大,  $Con^{FI_u}$ 中的像元数目越少;  $T_u$ 取值越小,  $Con^{FI_u}$ 中的像元数目越多。类似的, 采用均值 $Mean(\mathfrak{R}^{FI_c})$ 和标准差 $Std(\mathfrak{R}^{FI_c})$ 来定义集合 $Con^{FI_c}$ ：

$$[0124] \quad Con^{FI_c} = \{p(i, j) \in FI_c | K(i, j) > Mean(\mathfrak{R}^{FI_c}) + T_c \cdot Std(\mathfrak{R}^{FI_c})\}$$

[0125]  $T_c$ 为正整数, 且满足 $T_c$ 取值越大,  $Con^{FI_c}$ 中像元数目越少;  $T_c$ 取值越小,  $Con^{FI_c}$ 中的像元数目越多。在这里,  $T_u$ 和 $T_c$ 是两个常数, 优选的, 在本发明实施例中 $T_u=2$ ,  $T_c=6$ 。

[0126] 至此, 初始变化检测结果被划分为三个区域: 证据几乎不冲突的未变化类像元 $Non^{FI_u} = \{p(i, j) | p(i, j) \in FI_u, p(i, j) \notin Con^{FI_u}\}$ , 证据几乎不冲突的变化类像元

$Non^{FI_c} = \{p(i, j) | p(i, j) \in FI_c, p(i, j) \notin Con^{FI_c}\}$ , 和证据冲突严重像元 $Con^{FI_u} \cup Con^{FI_c}$ 。

[0127] 因证据几乎不冲突像元各个信源之间的一致程度较高, 使得证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果可信度较高, 故将证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果作为证据几乎不冲突像元的最终变化检测结果: 即将集合 $Non^{FI_u}$ 中像元最终标记为未变化类像元, 将

集合  $Non^{Fl_c}$  中像元最终标记为变化类像元。而对集合  $Con^{Fl_u} \cup Con^{Fl_c}$  中的像元,证据冲突比较严重,需重新判断其是否发生了变化,故此处将其类别重新标记为空,等待重新分类。

[0128] 在步骤S303中,将所述的证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果作为所述证据几乎不冲突像元的最终变化检测结果,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类,得到所述证据冲突严重像元的最终变化检测结果。

[0129] 在本发明实施例中,证据冲突严重像元包括初始变化检测结果中证据冲突严重的未变化类像元和证据冲突严重的变化类像元,其初始变化检测结果可能是不正确的,需要进一步判断其是否发生了变化,重新分配类别,从而得到证据冲突严重像元的最终变化检测结果。

[0130] 具体的,利用指示克里金理论,对证据冲突严重像元重新进行分类。在这里,证据冲突严重像元指的是集合  $Con^{Fl_u} \cup Con^{Fl_c}$  中的像元。对任给像元  $p(i_0, j_0) \in Con^{Fl_u} \cup Con^{Fl_c}$ ,图4中示出了本发明实施例提供的一种利用指示克里金理论对证据冲突严重像元重新进行分类的方法的具体实现流程。

[0131] 参阅图4,该流程包括:

[0132] 在步骤S401中,通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于未变化类  $w_u$  的概率。

[0133] 在本发明实施例中,利用指示克里金插值技术计算任给证据冲突严重像元  $p(i_0, j_0)$  属于未变化类  $w_u$  的概率。

[0134] 假设  $N(i_0, j_0)$  为像元  $p(i_0, j_0)$  的一个邻域,且  $N(i_0, j_0)$  满足:①  $N(i_0, j_0)$  以像元  $p(i_0, j_0)$  为中心;②  $p(i_0, j_0) \notin N(i_0, j_0)$ ,则称  $N(i_0, j_0)$  为像元  $p(i_0, j_0)$  的一个克里金窗口。图5给出一个  $7 \times 7$  的克里金窗口示意图。

[0135] 为计算像元  $p(i_0, j_0)$  属于未变化类  $w_u$  的概率,首先从未发生变化的角度根据步骤S302的结果定义指标变量  $I_u(i, j)$ :通过步骤S302,一些像元被标记为未变化类,一些像元被标记为变化类,其余像元的类别为空;将已标记为未变化类像元的指标值设置为1,已标记为变化类像元的指标值设置为0;而对类别为空的像元,其有一半的可能发生了变化,一半的可能未发生变化,将其指标值设置为1/2,则  $I_u(i, j)$  具体表示如下:

$$[0136] \quad I_u(i, j) = \begin{cases} 1 & p(i, j) \in w_u \\ 0 & p(i, j) \in w_c \\ 1/2 & p(i, j) \text{类别为空} \end{cases}$$

[0137] 然后根据所定义的指标变量  $I_u(i, j)$ ,利用指示克里金插值技术计算  $p(i_0, j_0)$  属于未变化类  $w_u$  的概率  $P_{w_u}(i_0, j_0)$ :

$$[0138] \quad P_{w_u}(i_0, j_0) = \sum_{(i, j) \in N(i_0, j_0)} \lambda_{ij}^u I_u(i, j)$$

[0139] 其中,  $N(i_0, j_0)$  表示像元  $p(i_0, j_0)$  的  $7 \times 7$  的克里金窗口;  $\lambda_{ij}^u$  为像元  $p(i, j)$  的克里金权重系数,  $\lambda_{ij}^u$  通过求解下式给出的  $I_u(i, j)$  的克里金方程组得到:

$$[0140] \quad \begin{cases} \sum_{(i,j) \in N(i_0, j_0)} \lambda_{ij}^u = 1 \\ \sum_{(i,j) \in N(i_0, j_0)} C_u(p(i, j), p(g, h)) \lambda_{ij}^u - \mu = C_u(p(i_0, j_0), p(g, h)), p(g, h) \in N(i_0, j_0) \end{cases}$$

[0141] 其中,  $C_u(\cdot, \cdot)$  表示指标变量  $I_u(\cdot, \cdot)$  的协方差函数,  $C_u(p(i, j), p(g, h))$  表示像元  $p(i, j)$  和  $p(g, h)$  的协方差,  $C_u(p(i_0, j_0), p(g, h))$  表示像元  $p(i_0, j_0)$  和  $p(g, h)$  的协方差,  $\mu$  为拉格朗日系数。

[0142] 作为本发明的一个优选示例, 计算指标变量  $I_u(\cdot, \cdot)$  的协方差函数时, 采用简单有效的切可雪夫距离度量像元间的距离; 同时假设  $I_u(\cdot, \cdot)$  各向同性, 分别计算上、下、左、右、左上、左下、右上和右下八个方向的协方差函数, 并将其平均值作为最终的协方差函数。

[0143] 为避免发生概率为负的情况, 通过克里金方程组得到克里金权重系数后对其进行如下处理: 首先判断  $\lambda_{ij}^u$  是否小于 0, 若小于 0, 则令  $\lambda_{ij}^u = 0$ , 否则保持其值不变; 然后对大于 0 的  $\lambda_{ij}^u$  进行归一化操作。

[0144] 在步骤 S402 中, 通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于变化类  $w_c$  的概率。

[0145] 在本发明实施例中, 利用指示克里金插值技术计算任给证据冲突严重像元  $p(i_0, j_0)$  属于变化类  $w_c$  的概率。

[0146] 与步骤 S401 类似, 为计算像元  $p(i_0, j_0)$  属于变化类  $w_c$  的概率, 首先从发生变化的角度根据步骤 S302 的结果定义指标变量  $I_c(i, j)$ : 将已标记为变化类像元的指标值设置为 1, 已标记为未变化类像元的指标值设置为 0; 而将类别为空的像元的指标值设置为 1/2。

$$[0147] \quad I_c(i, j) = \begin{cases} 1 & p(i, j) \in w_c \\ 0 & p(i, j) \in w_u \\ 1/2 & p(i, j) \text{ 类别为空} \end{cases}$$

[0148] 那么, 像元  $p(i_0, j_0)$  属于变化类  $w_c$  的概率  $P_{w_c}(i_0, j_0)$  可利用指示克里金插值技术通过下式计算:

$$[0149] \quad P_{w_c}(i_0, j_0) = \sum_{(i,j) \in N(i_0, j_0)} \lambda_{ij}^c I_c(i, j)$$

[0150] 这里  $N(i_0, j_0)$  表示像元  $p(i_0, j_0)$  的  $7 \times 7$  的克里金窗口,  $\lambda_{ij}^c$  表示像元  $p(i, j)$  的克里金权重系数, 通过求解下面的克里金方程组得到:

$$[0151] \quad \begin{cases} \sum_{(i,j) \in N(i_0, j_0)} \lambda_{ij}^c = 1 \\ \sum_{(i,j) \in N(i_0, j_0)} C_c(p(i, j), p(g, h)) \lambda_{ij}^c - \mu = C_c(p(i_0, j_0), p(g, h)), p(g, h) \in N(i_0, j_0) \end{cases}$$

[0152] 其中,  $C_c(\cdot, \cdot)$  表示指标变量  $I_c(\cdot, \cdot)$  的协方差函数,  $C_c(p(i, j), p(g, h))$  表示像元  $p(i, j)$  和  $p(g, h)$  的协方差,  $C_c(p(i_0, j_0), p(g, h))$  表示像元  $p(i_0, j_0)$  和  $p(g, h)$  的协方差,  $\mu$  为拉格朗日系数。

[0153] 在步骤S403中,通过最大概率原则对所述证据冲突严重像元进行重新分类。

[0154] 在本发明实施例中,通过最大概率原则对证据冲突严重像元重新分配类别,确定该证据冲突严重像元属于变化类还是未变化类。具体的,对任给证据冲突严重像元 $p(i_0, j_0)$ ,得到其属于未变化类 $w_u$ 和变化类 $w_c$ 的概率 $P_{w_u}(i_0, j_0)$ 和 $P_{w_c}(i_0, j_0)$ 后,通过下式对其分配类别 $L(i_0, j_0)$ :

$$[0155] \quad L(i_0, j_0) = \begin{cases} w_u & P_{w_u}(i_0, j_0) \geq P_{w_c}(i_0, j_0) \\ w_c & P_{w_u}(i_0, j_0) < P_{w_c}(i_0, j_0) \end{cases}$$

[0156] 其中 $L(i_0, j_0) = w_u$ 表示将像元 $p(i_0, j_0)$ 标记为未变化类, $L(i_0, j_0) = w_c$ 表示将像元 $p(i_0, j_0)$ 标记为变化类。

[0157] 通过步骤S104得到了初始的变化检测结果,初始变化检测结果包括证据几乎不冲突的像元和证据冲突严重像元:由于证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果可信度较高,将证据几乎不冲突像元的初始变化检测结果作为最终的变化检测结果;步骤S105利用指示克里金理论对证据冲突严重像元重新分配类别,从而得到证据冲突严重像元的最终变化检测结果。至此,实现了变化检测任务。

[0158] 为了说明本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法的变化检测效果,图6(a)给出了 $T_1$ 时刻遥感影像的第4波段,图6(b)给出了 $T_2$ 时刻遥感影像的第4波段,图6(c)给出了 $T_1$ 时刻和 $T_2$ 时刻遥感影像的变化参考图,两期影像产生变化的主要原因是火灾。图7(a)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_1$ 得到的变化检测图,图7(b)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_2$ 得到的变化检测图,图7(c)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_3$ 得到的变化检测图,图7(d)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_4$ 得到的变化检测图,图7(e)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_5$ 得到的变化检测图,图7(f)给出了模糊C均值根据差分影像 $DI_6$ 得到的变化检测图,图7(g)给出了融合技术投票法的变化检测图,图7(h)给出了融合技术模糊积分法的变化检测图,图7(i)给出了本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法的变化检测图。

[0159] 通过比较图7的变化检测图和图6(c)的变化参考图,可以发现本发明实施例得到了最接近真实变化的变化检测结果。

[0160] 表1进一步给出了上述九种变化检测技术的定量分析指标。其中A行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_1$ 得到的变化检测结果;B行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_2$ 得到的变化检测结果;C行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_3$ 得到的变化检测结果;D行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_4$ 得到的变化检测结果;E行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_5$ 得到的变化检测结果;F行表示模糊C均值根据差分影像 $DI_6$ 得到的变化检测结果;G行表示投票法的变化检测结果;H行表示模糊积分法的变化检测结果;I行表示本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法的变化检测结果。所述指标包括:1.虚检错误(将未变化类像元检测为变化类像元的像元个数);2.漏检错误(将变化类像元检测为未变化类像元的像元个数);3.总体错误(虚检错误与漏检错误之和);4.Kappa系数。

[0161] 从表1的比对中可得,本发明实施例提供的变化检测结果明显优于其他八种变化检测技术:与前面的六种基于单差分影像的方法相比,本发明实施例的变化检测结果总体错误降低约1600—4500像元,Kappa系数提高约2%—6%;与后面两种经典融合算法相比,本发明实施例提供的变化检测结果总体错误降低约1700像元,Kappa系数提高约2%。因此,

本发明实施例提供的遥感影像变化检测方法能够取得较优的变化检测结果。

[0162] 表1

方法	虚检错误	漏检错误	总体错误	Kappa系数
A	4359	3217	7576	0.9114
B	3865	3151	7016	0.9177
C	2275	3248	5523	0.9332
D	626	7771	8397	0.8937
E	584	7348	7932	0.9000
F	3297	2535	5832	0.9316
G	2452	3178	5630	0.9330
H	1458	4210	5668	0.9315
I	1869	2060	3929	0.9535

[0164] 在本发明实施例中,首先从距离矩阵的角度,提出一种生成信息互补差分影像组集合的方案,充分提取两期遥感影像的变化信息;其次通过相似度理论和模糊积分理论实现对所述差分影像组集合的决策级融合;然后利用指示克里金技术对所述融合结果进行优化,即重新分类融合结果中证据冲突严重像元,从而实现了提高变化检测的可靠性和变化检测结果的精度。

[0165] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不应对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0166] 对应于上文实施例所述的一种遥感影像变化检测方法,图8示出了本发明实施例提供的一种遥感影像变化检测装置的示意图,为了便于说明,仅示出了与本发明实施例相关的部分。

[0167] 参照图8,该装置包括:

[0168] 预处理单元81,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0169] 差分影像组集合生成单元82,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0170] 模糊C均值聚类计算单元83,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0171] 决策级融合单元84,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0172] 证据冲突严重像元重分类处理单元85,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0173] 具体的,所述差分影像组集合由六组信息互补的差分影像组成;

[0174] 其中,所述差分影像组集合生成单元82具体包括:

[0175] 第一差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过欧氏距离公式计算得到第一组差分影像;

[0176] 第二差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过闵可夫斯基距离公式计算得到第二组差分影像;

[0177] 第三差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过马氏距离公式计算得到第三组差分影像;

[0178] 第四差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过相关性距离公式计算得到第四组差分影像;

[0179] 第五差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过主成分分析理论生成第五组差分影像;

[0180] 第六差分影像组计算单元,用于根据预处理后的两期遥感影像,通过基于波普曲线形状的波普梯度差异生成第六组差分影像。

[0181] 优选的,所述遥感影像变化检测装置还包括:

[0182] 标准化处理单元,用于根据预设公式将每组差分影像的取值进行标准化使得其取值在预设取值区间范围之内。

[0183] 具体的,所述决策级融合单元84包括:

[0184] 重要程度确认子单元,用于根据所述变化检测图,通过相似度理论计算每组差分影像的模糊测度以确定在融合过程中每组差分影像的重要程度;

[0185] 判断结果求解子单元,用于根据所述模糊分割矩阵求解每组差分影像对像元的判断结果;

[0186] 决策级融合子单元,用于根据所述重要程度和所述判断结果,通过模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,将融合后的结果作为初始变化检测结果。

[0187] 具体的,所述证据冲突严重像元重分类处理单元85包括:

[0188] 证据冲突程度计算子单元,用于计算任意两组差分影像在每个像元处的证据冲突程度,根据所述证据冲突程度得到所述差分影像组集合在每个像元处的总证据冲突程度;

[0189] 证据冲突严重像元探测子单元,用于根据所述总证据冲突程度,通过自适应阈值技术将所述初始变化检测结果划分为两部分:证据几乎不冲突像元和证据冲突严重像元;

[0190] 证据冲突严重像元重分类处理子单元,用于通过指示克里金技术对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0191] 其中,所述证据冲突严重像元重分类处理子单元具体用于:

[0192] 通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于未变化类的概率;

[0193] 通过指示克里金理论计算所述证据冲突严重像元属于变化类的概率;

[0194] 通过最大概率原则对所述证据冲突严重像元进行重新分类。

[0195] 图9是本发明实施例提供的一种终端的示意图。如图9所示,该实施例的终端9包括:处理器90、存储器91以及存储在所述存储器91中并可在所述处理器90上运行的计算机程序92。所述处理器90执行所述计算机程序92时实现上述遥感影像变化检测方法实施例中的各个步骤,例如图1所示的步骤S101至S105。或者,所述处理器90执行所述计算机程序92时实现上述各装置实施例中各单元的功能,例如图8所示模块81至85的功能。

[0196] 示例性的,所述计算机程序92可以被分割成一个或多个单元,所述一个或者多个单元被存储在所述存储器91中,并由所述处理器90执行,以完成本发明。所述一个或多个单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程

序92在所述终端9中的执行过程。例如,所述计算机程序92可以被分割成预处理单元81、差分影像组集合生成单元82、模糊C均值聚类计算单元83、决策级融合单元84、证据冲突严重像元重分类处理单元85,各单元具体功能如下:

[0197] 预处理单元81,用于获取两期遥感影像,并对所述遥感影像进行预处理;

[0198] 差分影像组集合生成单元82,用于根据预处理后的两期遥感影像生成信息互补的差分影像组集合;

[0199] 模糊C均值聚类计算单元83,用于对所述差分影像组集合进行模糊C均值聚类计算,得到每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图;

[0200] 决策级融合单元84,用于根据所述的每组差分影像的模糊分割矩阵和变化检测图,通过相似度理论和模糊积分理论对所述差分影像组集合进行决策级融合,得到初始变化检测结果;

[0201] 证据冲突严重像元重分类处理单元85,用于计算所述差分影像组集合在每个像元处的证据冲突程度;探测并定位所述初始变化检测结果中的证据冲突严重像元,通过指示克里金理论对所述证据冲突严重像元重新进行分类。

[0202] 所述终端9可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述终端9可包括,但不仅限于,处理器90、存储器91。本领域技术人员可以理解,图9仅仅是终端9的示例,并不构成对终端9的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述终端还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0203] 所述处理器90可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0204] 所述存储器91可以是所述终端9的内部存储单元,例如终端9的硬盘或内存。所述存储器91也可以是所述终端9的外部存储设备,例如所述终端9上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器91还可以既包括所述终端9的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器91用于存储所述计算机程序以及所述终端所需的其他程序和数据。所述存储器91还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0205] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0206] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中并没有详述或记

载的部分,可以参见其他实施例的相关描述。

[0207] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0208] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以通过其他的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其他的形式。

[0209] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0210] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0211] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

[0212] 以上所述实施例仅用于说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本发明的保护范围之内。

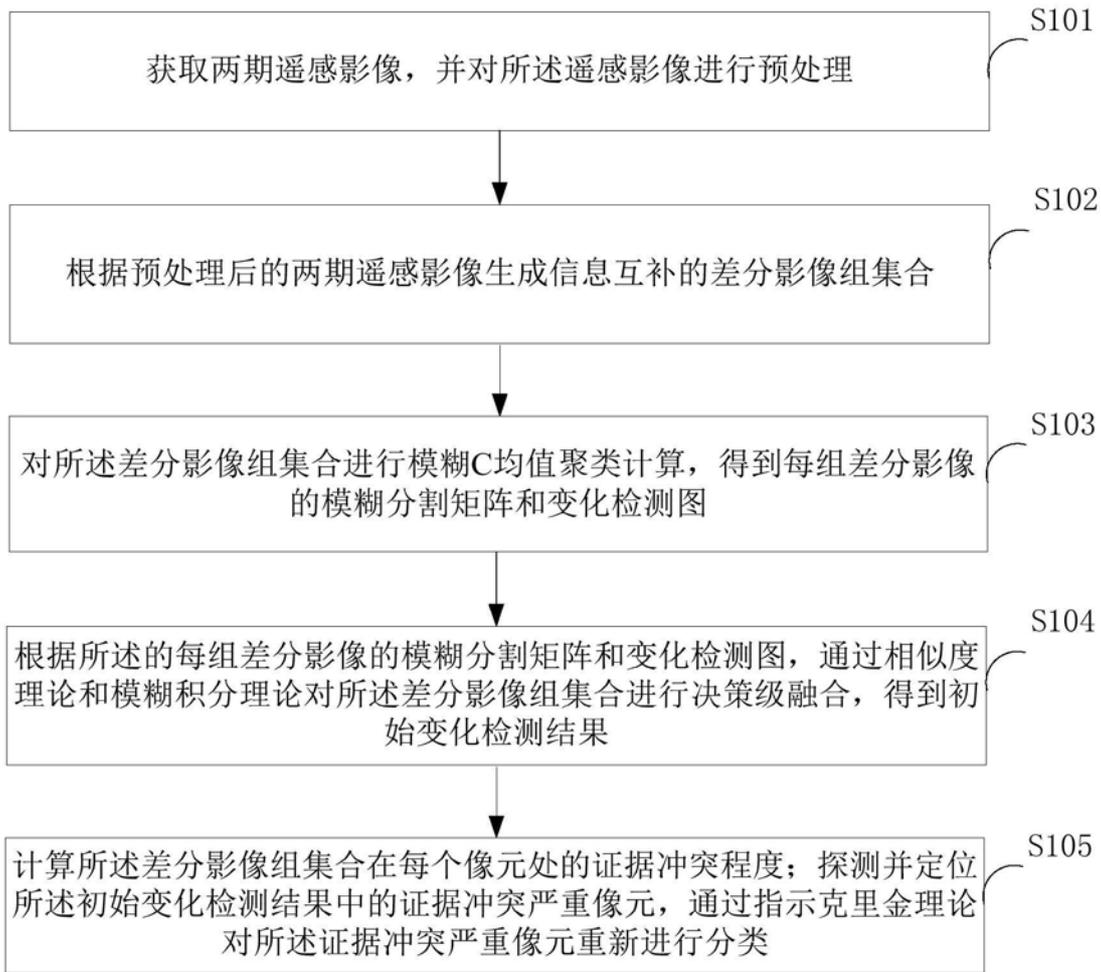


图1

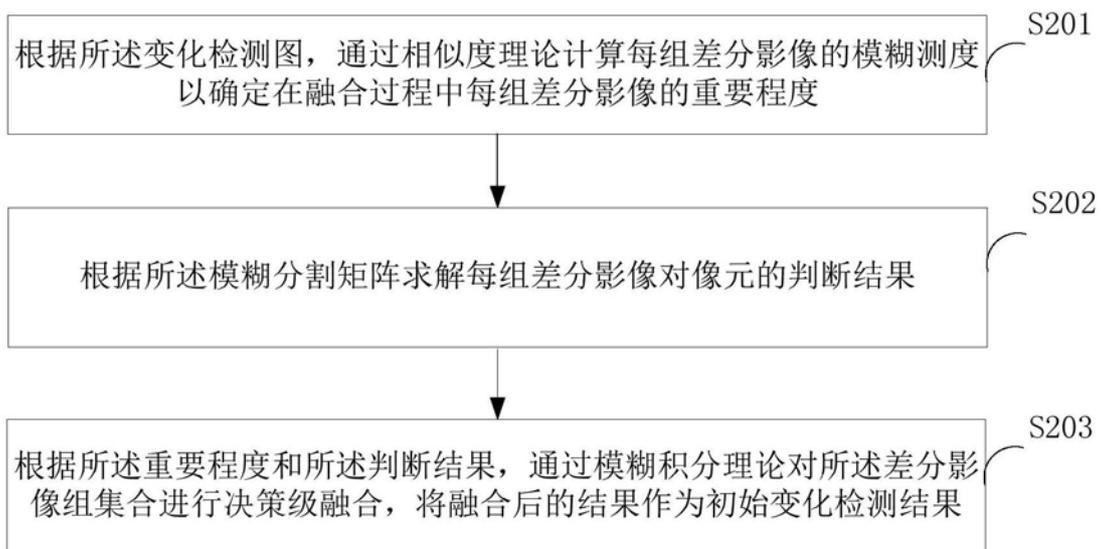


图2

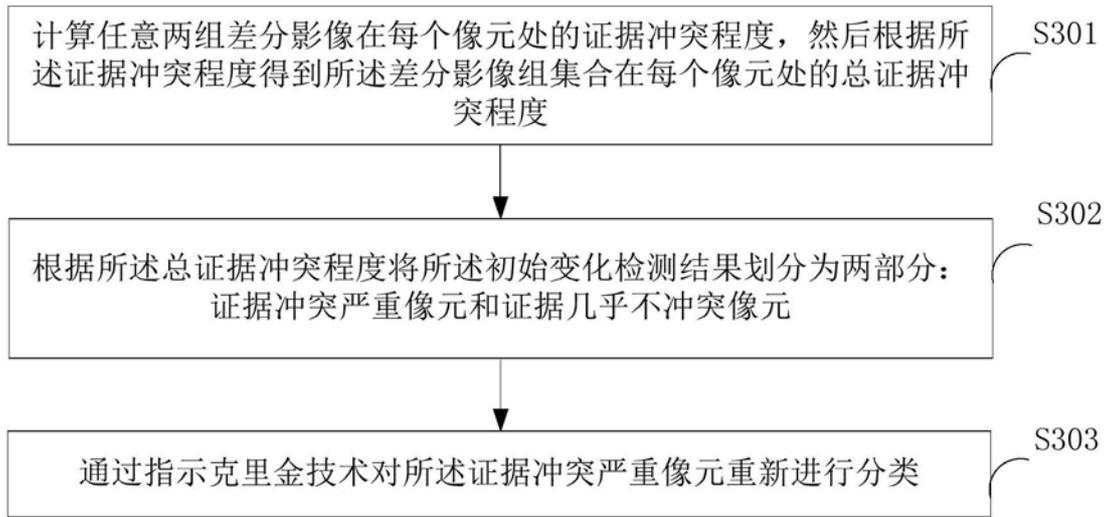


图3

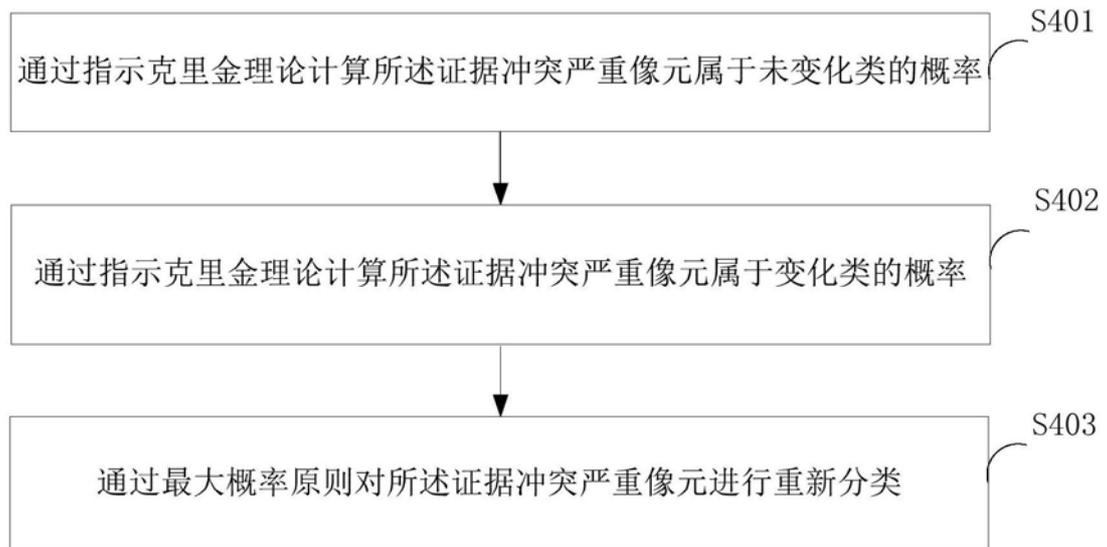


图4

$(i_0-3, j_0-3)$	$(i_0-2, j_0-3)$	$(i_0-1, j_0-3)$	$(i_0, j_0-3)$	$(i_0+1, j_0-3)$	$(i_0+2, j_0-3)$	$(i_0+3, j_0-3)$
$(i_0-3, j_0-2)$	$(i_0-2, j_0-2)$	$(i_0-1, j_0-2)$	$(i_0, j_0-2)$	$(i_0+1, j_0-2)$	$(i_0+2, j_0-2)$	$(i_0+3, j_0-2)$
$(i_0-3, j_0-1)$	$(i_0-2, j_0-1)$	$(i_0-1, j_0-1)$	$(i_0, j_0-1)$	$(i_0+1, j_0-1)$	$(i_0+2, j_0-1)$	$(i_0+3, j_0-1)$
$(i_0-3, j_0)$	$(i_0-2, j_0)$	$(i_0-1, j_0)$		$(i_0+1, j_0)$	$(i_0+2, j_0)$	$(i_0+3, j_0)$
$(i_0-3, j_0+1)$	$(i_0-2, j_0+1)$	$(i_0-1, j_0+1)$	$(i_0, j_0+1)$	$(i_0+1, j_0+1)$	$(i_0+2, j_0+1)$	$(i_0+3, j_0+1)$
$(i_0-3, j_0+2)$	$(i_0-2, j_0+2)$	$(i_0-1, j_0+2)$	$(i_0, j_0+2)$	$(i_0+1, j_0+2)$	$(i_0+2, j_0+2)$	$(i_0+3, j_0+2)$
$(i_0-3, j_0+3)$	$(i_0-2, j_0+3)$	$(i_0-1, j_0+3)$	$(i_0, j_0+3)$	$(i_0+1, j_0+3)$	$(i_0+2, j_0+3)$	$(i_0+3, j_0+3)$

图5

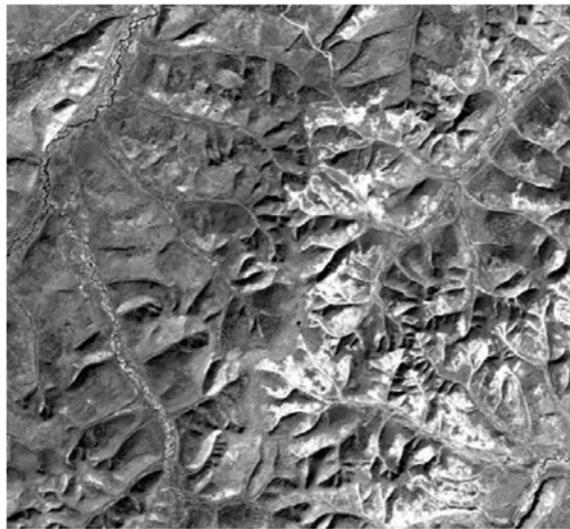


图6 (a)

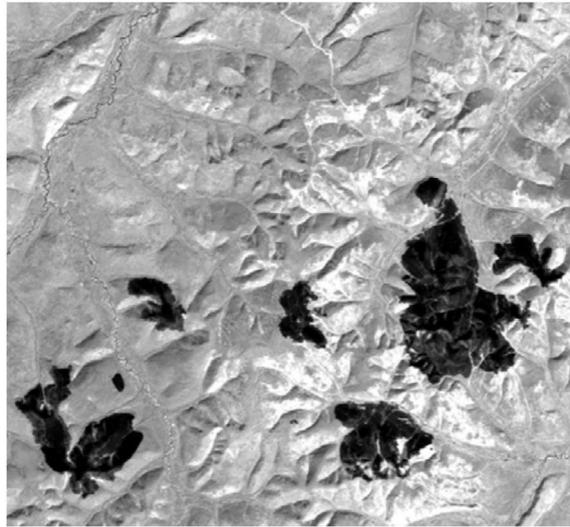


图6 (b)



图6 (c)

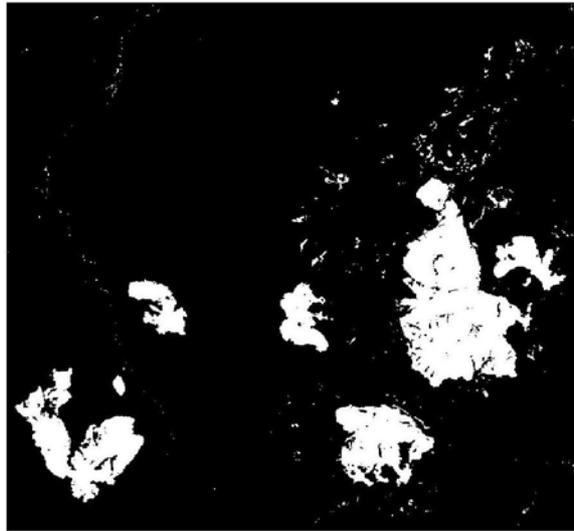


图7(a)

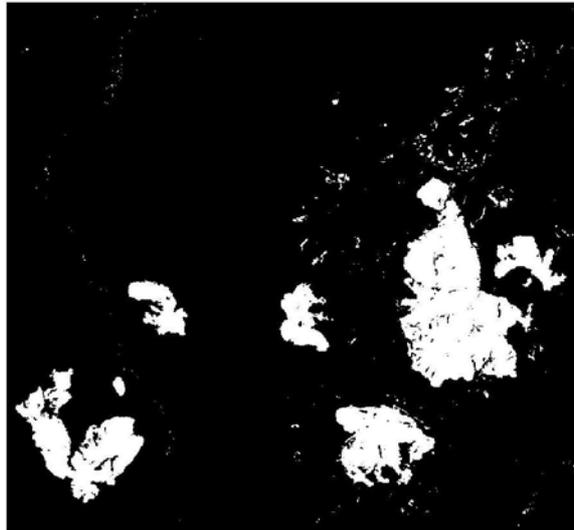


图7(b)

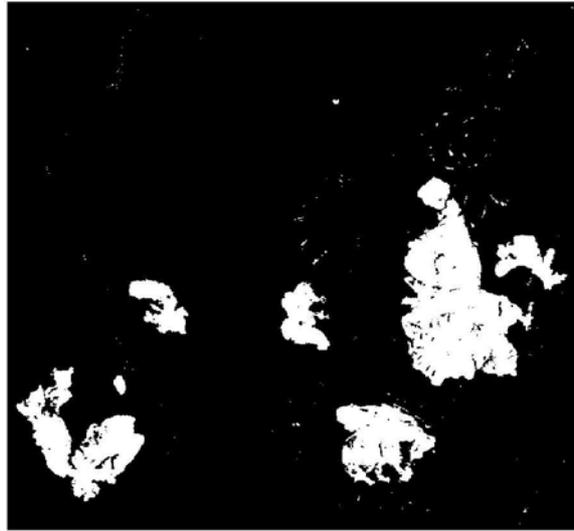


图7(c)

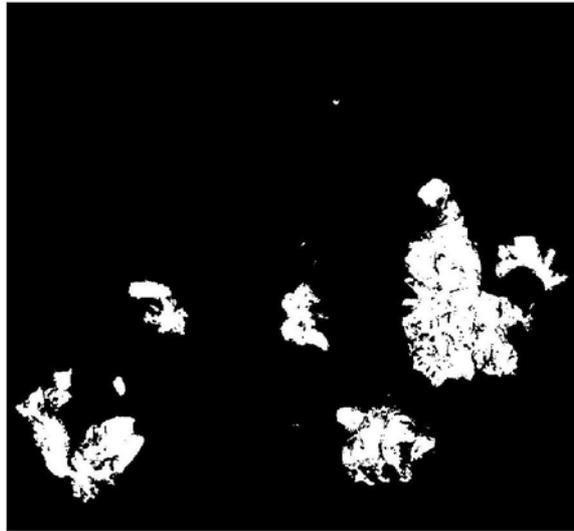


图7(d)

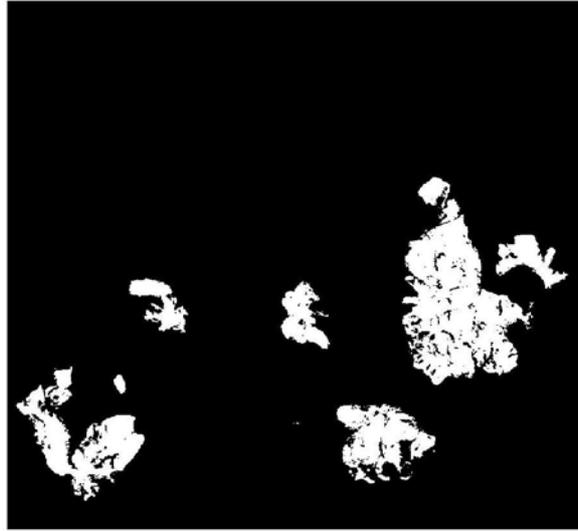


图7(e)

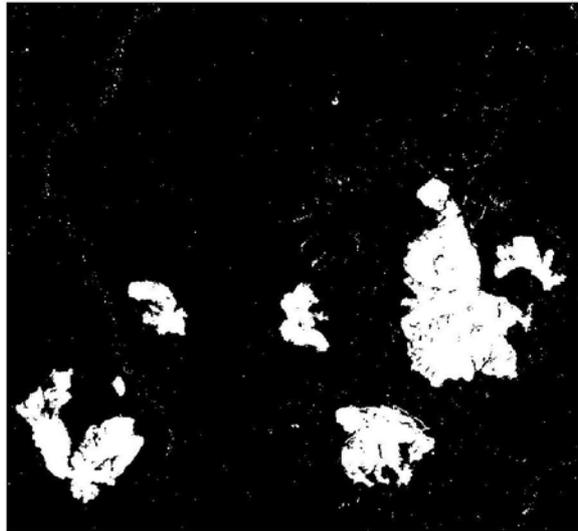


图7(f)

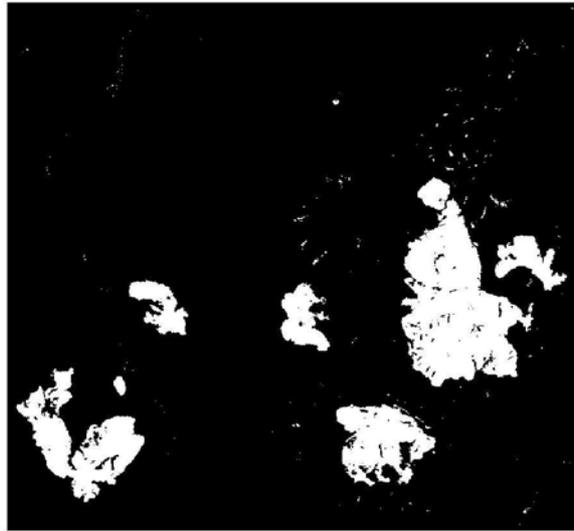


图7 (g)

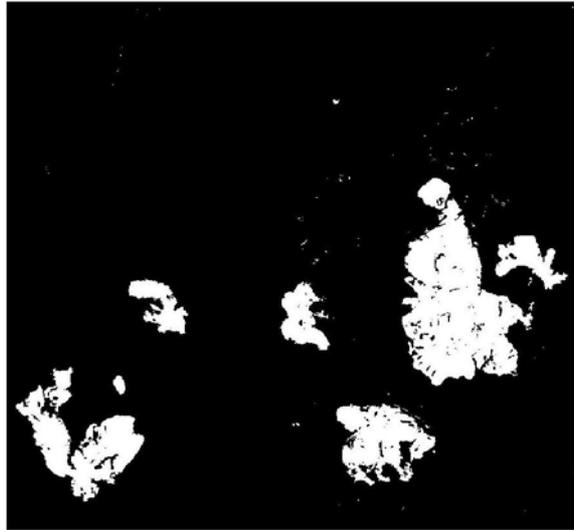


图7 (h)



图7 (i)

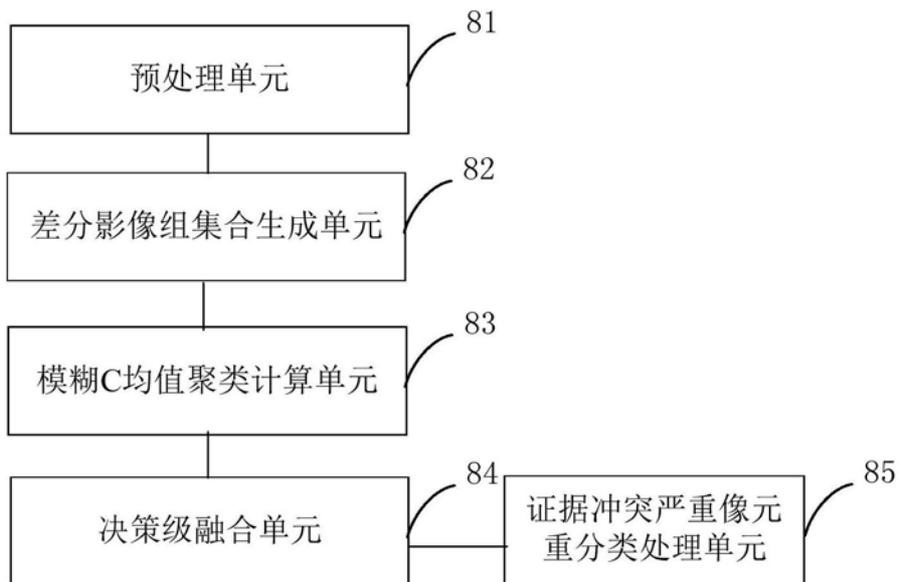


图8

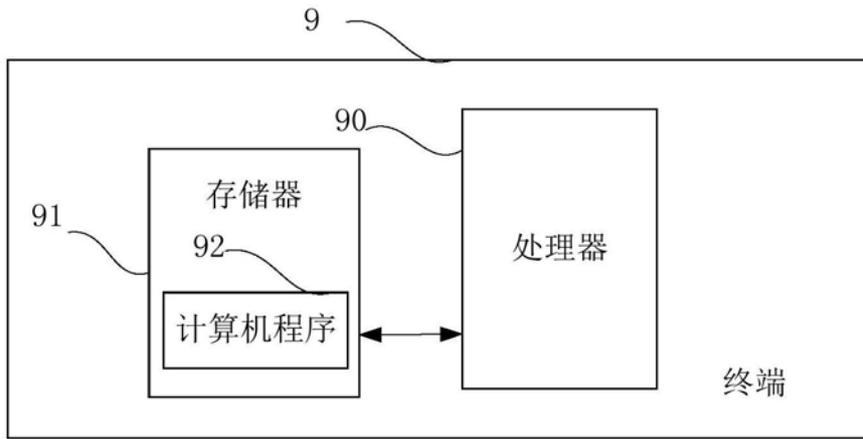


图9