



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106023133 B

(45)授权公告日 2019.03.19

(21)申请号 201610261434.6

(22)申请日 2016.04.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106023133 A

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 张永军 张毅 张彦峰

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 鲁力

(51)Int.Cl.

G06T 7/11(2017.01)

G06T 7/136(2017.01)

(56)对比文件

CN 103761717 A, 2014.04.30,

JP 特开2013-89021 A, 2013.05.13,

Gudina L.Feyisa等. Automated Water

Extraction Index: A new technique for
surface water mapping using Landsat
imagery.《Remote Sensing of Environment》
.2014,第140卷第23-35页.殷亚秋等. 基于高分辨率遥感影像的面向对
象水体提取方法研究.《测绘通报》.2015,(第1
期),第81-85页.

审查员 邹黎君

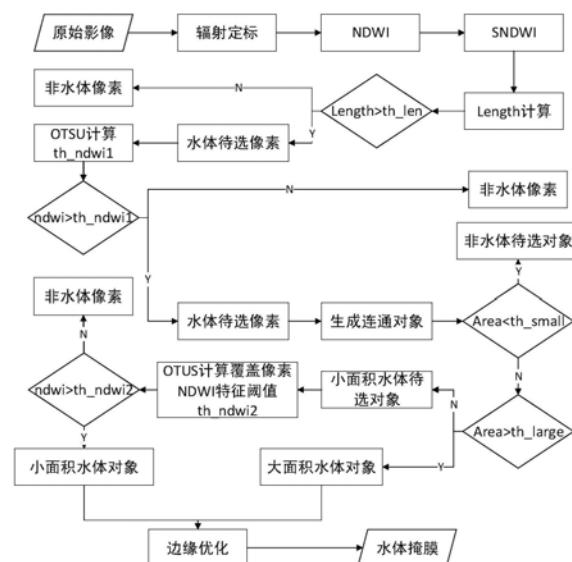
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感
影像水体提取方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法。首先对遥感影像进行辐射定标,得到地物的表观辐射量,从而通过对像元长度特征进行阈值分割排除大部分的非水体像素;然后对上述步骤保留下的水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割,得到水体待选对象;对小面积待选对象覆盖的像素的NDWI特征再次进行阈值分割,进一步排除混杂的背景像素;最后使用区域生长的方式进行水体的边缘优化得到最终的水体对象掩膜。本发明在水体提取时使用了局部结构长度特征,体现了水体的分布特点,并抑制了大部分阴影的干扰,避免了直接分类的方式融合多种特征造成的无法充分体现不同特征特点的问题;自动的水体提取,且运行速度快。



1. 一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,用于自动的从高分辨率遥感影像上提取水体信息;其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,对遥感影像进行辐射定标,方法如下:

首先根据公式(1)将卫星各载荷的通道观测技术值DN转换为卫星载荷入瞳处等效表观辐射亮度:

$$L = \text{Gain} \cdot \text{DN} + \text{Bias} \quad (1)$$

式中:Gain为定标斜距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;DN为卫星载荷观测技术值;Bias为定标截距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;以上参数均由实际卫星数据给出;

再根据如下公式,得到大气顶端的等效表观辐射亮度:

$$\rho = \pi * L * d^2 / (\text{ESUN} * \cos(\theta)) \quad (2)$$

其中,L为上一步得到的入瞳处的等效表观辐射亮度,d为年积日即影像获取时间为一年中的第几天, θ 为太阳高度角,以上数据从影像的元数据获得,ESUN为太阳表观辐射率均值,不同的卫星传感器会给定相应的取值;

步骤2,计算水体指数特征,水体指数特征表示为NDWI,NDWI使用如下公式进行计算:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{green} - \text{NIR}}{\text{green} + \text{NIR}} \quad (3)$$

其中green为遥感影像上的绿波段的辐射量,NIR为近红外波段的辐射量;

步骤3,将NDWI特征线性拉伸到[0,100]范围为SNDWI,SNDWI为StretchedNDWI特征,使用SNDWI提取像元长度特征Length,计算SNDWI和Length特征的具体方法如下:

$$\text{SNDWI} = \left\lfloor \frac{\text{NDWI} - \min}{\max - \min} \times 100 \right\rfloor \quad (4)$$

其中NDWI的计算方法由步骤2给出,min为NDWI的最小值,max为NDWI的最大值,即对每个像素的NDWI特征减去最小值后拉伸到[0,100]的范围,符号 $\lfloor a \rfloor$ 表示对a进行向下取整;

计算Length特征具体方法如下:

1) 获取方向线;

方向线为通过中心点的延长方向线,而不是从中心点出发的射线;在计算之前预先给定方向线,一般来说方向线多得到的计算结果更好;方向线的获取通过中心点坐标求取Length特征的点和斜率根据DDA算法、Bresenham算法计算得到;或者先给定掩膜矩阵;当满足以下条件时,中心像素沿各条方向线向两个方向延长:① PH_i 小于特定的特征 th_T1 ;②该方向上总像素个数小于另一给定特征 th_T2 ;

计算像素相似性pixel homogeneity:

$$\text{PH}_i = \sum_{s=1}^n |p_s^{\text{cen}} - p_s^{\text{sur}}| \quad (5)$$

其中, PH_i 代表i方向上中心像素与周围像素的特征相似性,n表示特征个数, p_s^{cen} 表示中心像素的特征值, p_s^{sur} 表示周围像素的特征值;

若以上任一条件无法满足时,则停止生长该方向,开始生长下一条方向线;

2) 计算各方向线的长度;

在确定每条方向线后,根据以下公式计算方向线的长度:

$$d_i = \max\{|m^{e1} - m^{e2}|, |n^{e1} - n^{e2}|\} \quad (6)$$

其中, (m^{e1}, n^{e1}) 表示方向线一端点的行列号, (m^{e2}, n^{e2}) 表示方向线的另一端端点的行列号;

根据上述步骤, 可得到每条方向线长度组成的长度向量 $(d_1, d_2, d_3, \dots, d_D)$, D 表示方向的个数;

3) 选择方向线向量中的最大值为Length特征;

步骤4, 对提取的Length特征进行阈值分割, Length特征大于阈值的部分为水体待选像素;

步骤5, 对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割, 去除部分非水体像素;

步骤6, 对剩下的水体待选像素进行连通性分析, 得到水体待选对象, 并使用双阈值对水体待选对象进行阈值分割, 即 $t_1 < t_2$, 舍去面积小于 t_1 的对象, 保留面积大于 t_2 的为大面积水体, 面积大于 t_1 小于 t_2 的为小面积水体待选对象;

步骤7, 对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割;

步骤8, 对所有水体对象进行边缘优化。

2. 根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法, 其特征在于, 所述的步骤3和4中, 使用拉伸后的NDWI特征SNDWI, 计算像元长度特征, 并通过对像元长度特征进行阈值分割, 排除大部分背景像素在后续处理中的干扰。

3. 根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法, 其特征在于, 所述的步骤4中, 对提取的Length特征进行阈值分割的依据如下策略: 因为Length特征反映地物的结构、尺度特征, 水体对象内部的Length特征主要受水体尺度约束, 而其他地物特征由于内部差异较大则Length特征较小, 故这里人工给定一个小的值即可得到可能的水体像素。

4. 根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法, 其特征在于, 所述的步骤5中, 对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为: 待选像素由水体和部分背景地物像素组成, 诸如分布比较平滑的建筑物屋顶、道路、植被信息, 因此使用OTSU算法进行分割, 去除大部分和水体像素差异大的背景像素, 分割后水体待选像素值为1, 背景像素为0。

5. 根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法, 其特征在于, 所述的步骤6中, 对水体待选像素进行连通性分析构造水体对象并对水体对象面积进行双阈值分割的方法如下: 使用上述步骤生成的水体待选像素掩膜, 通过区域生长得到水体待选对象; 区域生长方式为若相邻像素均为1则被归为同一个对象, 从影像起始处开始生长, 直到处理完成整幅影像; 常用的连通性分析为四邻域和八邻域两种, 推荐使用八邻域处理, 这样可以避免后续操作中水体对象的丢失;

对得到的水体对象的面积特征进行双阈值分割, 使用双阈值分割后, 可将水体对象分为三类, 其中, 双阈值为 t_1 和 t_2 , 满足 $t_1 < t_2$, :

1) 面积小于 t_1 的水体对象为噪声的概率较高, 并且面积过小的水体不具有提取的意义, 这里直接舍去;

2) 面积大于 t_2 的大面积对象, 由于遥感影像上存在面积大于 t_2 且可以通过水体待选像素初次分割结果的背景地物的概率较小, 故接受大面积对象为水体对象;

3) 面积大于 t_1 小于 t_2 的小面积对象, 由于小面积的对象中含有混合的背景地物的概率

较高,这里将小面积对象作为小面积水体待选对象进行后续处理,排除背景地物。

6.根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,其特征在于,所述的步骤7中,对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为:小面积水体与小面积背景地物之间的NDWI特征差异明显;具体而言,如果小面积待选水体对象中含有背景地物的干扰,则其覆盖范围内的所有像素的NDWI特征会呈现较好的双峰分布。

7.根据权利要求1所述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,其特征在于,所述的步骤8中,对所有水体对象进行边缘优化的具体方法为:

首先,使用Canny算子计算影像边缘信息,标记边缘像素;

将所有水体对象的边界像素作为种子点,计算种子点与其邻域内非水体像素之间的光谱角距离SA,若该非水体像素不为Canny边缘,且SA小于给定阈值th_sa则认为该像素为水体,设置该像素为水体,并加入种子点,重复以上操作直到所有种子点均被处理完毕为止;

$$SA(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \right) \quad (7)$$

其中,x和y为两像素的表观反射率向量,对于具有可见光和近红外四个波段的高分辨率遥感影像来说,x和y均为格式为{b₁,b₂,b₃,b₄}的四维向量,b_i,i={1,2,3,4}表示像素在四个波段上的表观反射率。

一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法。

背景技术

[0002] 地表水体是人类生存和社会发展不可取代的基本要素。针对地表水体的研究对气候模型,农业稳定性,河流变化,湿地监管,地表水体调研和管理,环境监测等领域起着重要的作用。准确提取地表水体位置、体积、变化信息是进一步的水体研究以及制定相关政策的关键一步。相比于传统的实地调查手段,遥感技术提供了快速获取地表水体的契机,大大降低了获得地表水体信息的时间与人力成本。因此,高分辨率遥感影像水体提取是具有实际意义的基础和关键性问题。

[0003] 由于地表水体的多样性,从高分辨率遥感影像提取水体是个复杂的问题。目前水体提取时使用的特征主要为光谱特征、多种水体指数、纹理信息等,然而这些特征并不足以提取出高分影像上的水体。纯净水体具有光谱反射率随波长增加的特性,而浑浊水体则可能不具有该特点,并且水体与阴影的光谱特征容易混淆,这造成了光谱特征的局限性。水体指数能够增加水体与背景地物区分度,然而某些背景地物如建筑物与水体在水体指数的分布上存在重叠,这会造成这些背景地物与水体相混淆的问题。纹理信息考虑到了水体像素的分布特点,由于水体像素之间的差异比其他地物之间的差异小,因此,水体的分布较为平滑,纹理特征值较小。然而,纹理信息在计算过程中往往需要进行取窗口,该过程会造成边缘像素的混淆,引起水体边缘提取错误,小水体丢失的问题。

[0004] 针对以上问题,本发明将使用像元长度特征进行水体的提取。像元长度特征能够充分体现水体内部分布均匀的特性,其计算过程中会考虑到光谱的差异性,并且不同于纹理信息,像元长度特征不需要通过移动窗口进行计算。由于水体对象内部像素差异较小,水体像素的像元长度特征取值较大,并且受像素所在的水体对象面积大小限制。充分利用像元长度特征的特性,可以排除大部分的建筑物、阴影等背景地物的干扰。在此基础上,结合水体的光谱特征、水体指数特征、水体对象面积特征可以很好的提取出高分辨率遥感影像上的水体对象信息。

发明内容

[0005] 本发明主要是解决现有技术所使用特征不足以充分体现水体与背景地物之间差异的缺点,分析了像元长度特征对水体提取的作用,并且根据多种特征的特点,提出了一种联合多种特征进行高分辨率遥感影像水体提取的方法。

[0006] 本发明的上述技术问题主要是通过下述技术方案得以解决的:

[0007] 一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,用于自动的从高分辨率遥感影像上提取水体信息;其特征在於,包括以下步骤:

[0008] 步骤1,对遥感影像进行辐射定标,方法如下:

[0009] 首先根据公式(1)将卫星各载荷的通道观测技术值DN转换为卫星载荷入瞳处等效

表观辐射亮度:

$$[0010] \quad L = \text{Gain} \cdot \text{DN} + \text{Bias} \quad (1)$$

[0011] 式中:Gain为定标斜距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;DN为卫星载荷观测值;Bias为定标截距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;以上参数均由实际卫星数据给出;

[0012] 再根据如下公式,得到大气顶端的表观辐射量:

$$[0013] \quad \rho = \pi * L * d^2 / (\text{ESUN} * \cos(\theta)) \quad (2)$$

[0014] 其中,L为上一步得到的入瞳处的表观辐射量,d为年积日即影像获取时间为一年中的第几天, θ 为太阳高度角,以上数据可从影像的元数据获得,ESUN为太阳表观辐射率均值,不同的卫星传感器会给定相应的取值;

[0015] 步骤2,计算水体指数特征(NDWI),NDWI使用如下公式进行计算:

$$[0016] \quad \text{NDWI} = \frac{\text{green} - \text{NIR}}{\text{green} + \text{NIR}} \quad (3)$$

[0017] 其中green为遥感影像上的绿波段,NIR为近红外波段的辐射量;

[0018] 步骤3,将NDWI特征线性拉伸到[0,100]范围为SNDWI(Stretched NDWI)特征,使用SNDWI提取像元长度特征(Length),计算SNDWI和Length特征的具体方法如下:

$$[0019] \quad \text{SNDWI} = \left\lfloor \frac{\text{NDWI} - \min}{\max - \min} \times 100 \right\rfloor \quad (4)$$

[0020] 其中NDWI的计算方法由步骤2给出,min为NDWI的最小值,max为NDWI的最大值,即对每个像素的NDWI特征减去最小值后拉伸到[0,100]的范围,符号 $\lfloor a \rfloor$ 表示对a进行向下取整;

[0021] 计算SNDWI计算Length特征具体方法如下:

[0022] 1) 获取方向线;

[0023] 方向线为通过中心点的延长方向线,而不是从中心点出发的射线;在计算之前预先给定方向线,一般来说方向线多得到的计算结果更好;方向线的获取可以通过中心点坐标(求取Length特征的点)和斜率根据DDA算法、Bresenham算法等计算得到,也可以如附图2所示预先给定掩膜矩阵,附图2中黑色表示计算点,不同灰度的像素表示了四条方向线;当满足以下条件时,中心像素沿各条方向线向两个方向延长:① PH_i 小于特定的特征 th_T1 ;②该方向上总像素个数小于另一给定特征 th_T2 ;

[0024] 计算像素相似性(pixel homogeneity):

$$[0025] \quad \text{PH}_i = \sum_{s=1}^n |p_s^{\text{cen}} - p_s^{\text{sur}}| \quad (5)$$

[0026] 其中, PH_i 代表i方向上中心像素与周围像素的特征相似性,n表示特征个数, p_s^{cen} 表示中心像素的特征, p_s^{sur} 表示周围像素的特征值;

[0027] 若以上任一条件无法满足时,则停止生长该方向下,开始生长下一条方向线;

[0028] 2) 计算各方向线的长度;

[0029] 在确定每条方向线后,根据以下公式计算方向线的长度:

$$[0030] \quad d_i = \max \{ |m^{e1} - m^{e2}|, |n^{e1} - n^{e2}| \} \quad (6)$$

[0031] 其中, (m^{e1}, n^{e1}) 表示方向线一端点的行列号, (m^{e2}, n^{e2}) 表示方向线的另一端端点的行列号;

[0032] 根据上述步骤,可得到每条方向线长度组成的长度向量($d_1, d_2, d_3, \dots, d_D$), D 表示方向的个数;

[0033] 3) 选择方向线向量中的最大值为Length特征;

[0034] 步骤4,对提取的Length特征进行阈值分割,Length特征大于阈值的部分为水体待选像素;

[0035] 步骤5,对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割,去除部分非水体像素;

[0036] 步骤6,对剩下的水体待选像素进行连通性分析,得到水体待选对象,并使用双阈值对水体待选对象进行阈值分割($t_1 < t_2$),舍去小于面积小于 t_1 的对象,保留面积大于 t_2 的为大面积水体,面积大于 t_1 小于 t_2 的为小面积待选水体对象;

[0037] 步骤7,对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割;

[0038] 步骤8,对所有水体对象进行边缘优化。

[0039] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步骤3和4中,使用拉伸后的NDWI特征(SNDWI),计算像元长度特征,并通过对像元长度特征进行阈值分割,排除大部分背景像素在后续处理中的干扰。

[0040] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步骤4中,对提取的Length特征进行阈值分割的可依据如下策略:因为Length特征可以反映地物的结构、尺度特征,水体对象内部的Length特征主要受水体尺度约束,而其他地物特征由于内部差异较大则Length特征较小,故这里人工给定一个较小的值即可得到可能的水体像素。

[0041] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步骤5中,对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为:待选像素由水体和部分背景地物像素组成,诸如分布比较平滑的建筑物屋顶、道路、植被信息,因此可以使用OTSU算法进行分割,去除大部分和水体像素差异较大的背景像素,其他经典的阈值分割方法也可以用于此处,分割后水体待选像素值为1,背景像素为0。

[0042] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步骤6中,对水体待选像素进行连通性分析构造水体对象并对水体对象面积进行双阈值分割的方法如下:使用上述步骤生成的水体待选像素掩膜,通过区域生长得到水体待选对象;区域生长方式为若相邻像素均为1则被归为同一个对象,从影像起始处开始生长,直到处理完成整幅影像;常用的连通性分析为四邻域和八邻域两种,推荐使用八邻域处理,这样可以避免后续操作中水体对象的丢失。

[0043] 对得到的水体对象的面积特征进行双阈值分割,使用双阈值(t_1 和 t_2 ,满足 $t_1 < t_2$)分割后,可将水体对象分为三类:

[0044] 1) 面积小于 t_1 的水体对象为噪声的概率较高,并且面积过小的水体不具有提取的意义,这里直接舍去;

[0045] 2) 面积大于 t_2 的大面积对象,由于遥感影像上存在面积大于 t_2 且可以通过水体待选像素初次分割结果的背景地物的概率较小,故接受大面积对象为水体对象;

[0046] 3) 面积大于 t_1 小于 t_2 的小面积对象,由于小面积的对象中含有混合的背景地物的概率较高,这里将小面积对象作为小面积水体待选对象进行后续处理,排除背景地物。

[0047] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步

骤7中,对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为:小面积水体与小面积背景地物之间的NDWI特征差异明显;具体而言,如果小面积待选水体对象中含有背景地物的干扰,则其覆盖范围内的所有像素的NDWI特征会呈现较好的双峰分布;这里使用常用的阈值分割方法即可得到小面积水体像素,常用的方法有OTSU,EM等算法,考虑到算法的稳定性和效率,本发明推荐使用OTSU算法。

[0048] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步骤8中,对所有水体对象进行边缘优化的具体方法为:

[0049] 首先,使用Canny算子计算影像边缘信息,标记边缘像素;

[0050] 将所有水体对象的边界像素作为种子点,计算种子点与其邻域内非水体像素之间的光谱角距离(SA),若该非水体像素不为Canny边缘,且SA小于给定阈值(th_sa)则认为该像素为水体,设置该像素为水体,并加入种子点,重复以上操作直到所有种子点均被处理完毕为止;

$$[0051] \quad SA(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \right) \quad (7)$$

[0052] 其中,x和y为两像素的表观反射率向量,对于具有可见光和近红外四个波段的高分辨率遥感影像来说,x和y均为格式为{b₁, b₂, b₃, b₄}的四维向量,b_i, i = {1, 2, 3, 4}表示像素在四个波段上的表观反射率。

[0053] 本发明具有如下优点:在水体提取是使用了像元长度特征,体现了水体的分布特点,并抑制了大部分阴影、建筑物的干扰;考虑了不同面积水体的特征,进行分开提取保证了提取的稳定性;结合了光谱、水体指数、像元长度等多种特征,并根据每种特征的原理和水体的特性进行针对性的提取,避免了直接分类的方式融合多种特征造成的无法充分体现不同特征特点的问题;自动的水体提取,且运行速度快。

附图说明

[0054] 图1为本发明的总体流程图。

[0055] 图2为计算Length特征时的方向线示意图。

[0056] 图3a为生成水体对象时的邻域示意图(四邻域)。

[0057] 图3b为生成水体对象时的邻域示意图(八邻域)。

具体实施方式

[0058] 下面通过实施例,并结合附图,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

[0059] 实施例:

[0060] 本发明提供的技术方案是,一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,利用像元长度特征的在水体提取中的优点,与水体指数和水体对象的面积特征相结合,提高了水体提取的正确率和稳定性。如图1所示,包括以下步骤:

[0061] 步骤1,对遥感影像进行辐射定标,方法如下:

[0062] 首先根据公式(1)将卫星各载荷的通道观测技术值DN转换为卫星载荷入瞳处等效表观辐射亮度:

[0063] $L = \text{Gain} \cdot \text{DN} + \text{Bias}$ (1)

[0064] 式中:Gain为定标斜距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;DN为卫星载荷观测值;Bias为定标截距,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$;以上参数均由实际卫星数据给出;

[0065] 再根据如下公式,得到大气顶端的表观辐射量:

[0066] $\rho = \pi * L * d^2 / (\text{ESUN} * \cos(\theta))$ (2)

[0067] 其中,L为上一步得到的入瞳处的表观辐射量,d为年积日即影像获取时间为一年中的第几天, θ 为太阳高度角,以上数据可从影像的元数据获得,ESUN为太阳表观辐射率均值,不同的卫星传感器会给定相应的取值;

[0068] 步骤2,计算水体指数特征(NDWI),NDWI使用如下公式进行计算:

[0069]
$$\text{NDWI} = \frac{\text{green} - \text{NIR}}{\text{green} + \text{NIR}} \quad (3)$$

[0070] 其中green为遥感影像上的绿波段,NIR为近红外波段的辐射量;

[0071] 步骤3,将NDWI特征线性拉伸到[0,100]范围为SNDWI(Stretched NDWI)特征,使用SNDWI提取像元长度特征(Length),计算SNDWI和Length特征的具体方法如下:

[0072]
$$\text{SNDWI} = \left\lfloor \frac{\text{NDWI} - \min}{\max - \min} \times 100 \right\rfloor \quad (4)$$

[0073] 其中NDWI的计算方法由步骤2给出,min为NDWI的最小值,max为NDWI的最大值,即对每个像素的NDWI特征减去最小值后拉伸到[0,100]的范围,符号 $\lfloor a \rfloor$ 表示对a进行向下取整;

[0074] 计算SNDWI计算Length特征具体方法如下:

[0075] 1) 获取方向线;

[0076] 方向线为通过中心点的延长方向线,而不是从中心点出发的射线;在计算之前预先给定方向线,一般来说方向线多得到的计算结果更好;方向线的获取可以通过中心点坐标(求取Length特征的点)和斜率根据DDA算法、Bresenham算法等计算得到,也可以如附图2所示预先给定掩膜矩阵,附图2中黑色表示计算点,不同灰度的像素表示了四条方向线;当满足以下条件时,中心像素沿各条方向线向两个方向延长:① PH_i 小于特定的特征 th_T1 ;②该方向上总像素个数小于另一给定特征 th_T2 ;

[0077] 计算像素相似性(pixel homogeneity):

[0078]
$$\text{PH}_i = \sum_{s=1}^n |p_s^{\text{cen}} - p_s^{\text{sur}}| \quad (5)$$

[0079] 其中, PH_i 代表i方向上中心像素与周围像素的特征相似性,n表示特征个数, p_s^{cen} 表示中心像素的特征, p_s^{sur} 表示周围像素的特征值;

[0080] 若以上任一条件无法满足时,则停止生长该方向下,开始生长下一条方向线;

[0081] 2) 计算各方向线的长度;

[0082] 在确定每条方向线后,根据以下公式计算方向线的长度:

[0083] $d_i = \max\{|m^{e1} - m^{e2}|, |n^{e1} - n^{e2}|\}$ (6)

[0084] 其中, (m^{e1}, n^{e1}) 表示方向线一端点的行列号, (m^{e2}, n^{e2}) 表示方向线的另一端端点的行列号;

[0085] 根据上述步骤,可得到每条方向线长度组成的长度向量 $(d_1, d_2, d_3, \dots, d_D)$,D表示

方向的个数；

[0086] 3) 选择方向线向量中的最大值为Length特征；

[0087] 步骤4,对提取的Length特征进行阈值分割,Length特征大于阈值的部分为水体待选像素；

[0088] 步骤5,对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割,去除部分非水体像素；

[0089] 步骤6,对剩下的水体待选像素进行连通性分析,得到水体待选对象,并使用双阈值对水体待选对象进行阈值分割($t_1 < t_2$),舍去小于面积小于 t_1 的对象,保留面积大于 t_2 的为大面积水体,面积大于 t_1 小于 t_2 的为小面积待选水体对象；

[0090] 步骤7,对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割；

[0091] 步骤8,对所有水体对象进行边缘优化。

[0092] 步骤3和4中,使用拉伸后的NDWI特征(SNDWI),计算像元长度特征,并通过对像元长度特征进行阈值分割,排除大部分背景像素在后续处理中的干扰。

[0093] 步骤4中,对提取的Length特征进行阈值分割的可依据如下策略:因为Length特征可以反映地物的结构、尺度特征,水体对象内部的Length特征主要受水体尺度约束,而其他地物特征由于内部差异较大则Length特征较小,故这里人工给定一个较小的值即可得到可能的水体像素。

[0094] 步骤5中,对水体待选像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为:待选像素由水体和部分背景地物像素组成,诸如分布比较平滑的建筑物屋顶、道路、植被信息,因此可以使用OTSU算法进行分割,去除大部分和水体像素差异较大的背景像素,其他经典的阈值分割方法也可以用于此处,分割后水体待选像素值为1,背景像素为0。

[0095] 步骤6中,对水体待选像素进行连通性分析构造水体对象并对水体对象面积进行双阈值分割的方法如下:使用上述步骤生成的水体待选像素掩膜,通过区域生长得到水体待选对象;区域生长方式为若相邻像素均为1则被归为同一个对象,从影像起始处开始生长,直到处理完成整幅影像;常用的连通性分析为四邻域和八邻域两种,推荐使用八邻域处理,这样可以避免后续操作中水体对象的丢失。

[0096] 对得到的水体对象的面积特征进行双阈值分割,使用双阈值(t_1 和 t_2 ,满足 $t_1 < t_2$)分割后,可将水体对象分为三类:

[0097] 1) 面积小于 t_1 的水体对象为噪声的概率较高,并且面积过小的水体不具有提取的意义,这里直接舍去;

[0098] 2) 面积大于 t_2 的大面积对象,由于遥感影像上存在面积大于 t_2 且可以通过水体待选像素初次分割结果的背景地物的概率较小,故接受大面积对象为水体对象;

[0099] 3) 面积大于 t_1 小于 t_2 的小面积对象,由于小面积的对象中含有混合的背景地物的概率较高,这里将小面积对象作为小面积水体待选对象进行后续处理,排除背景地物。

[0100] 步骤7中,对小面积水体待选对象所有像素的NDWI特征进行阈值分割的方法为:小面积水体与小面积背景地物之间的NDWI特征差异明显;具体而言,如果小面积待选水体对象中含有背景地物的干扰,则其覆盖范围内的所有像素的NDWI特征会呈现较好的双峰分布;这里使用常用的阈值分割方法即可得到小面积水体像素,常用的方法有OTSU,EM等算法,考虑到算法的稳定性和效率,本发明推荐使用OTSU算法。

[0101] 在上述的一种基于多特征联合处理的高分辨率遥感影像水体提取方法,所述的步

骤8中,对所有水体对象进行边缘优化的具体方法为:

[0102] 首先,使用Canny算子计算影像边缘信息,标记边缘像素;

[0103] 将所有水体对象的边界像素作为种子点,计算种子点与其邻域内非水体像素之间的光谱角距离(SA),若该非水体像素不为Canny边缘,且SA小于给定阈值(th_sa)则认为该像素为水体,设置该像素为水体,并加入种子点,重复以上操作直到所有种子点均被处理完毕为止;

$$[0104] \quad SA(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \right) \quad (7)$$

[0105] 其中,x和y为两像素的表观反射率向量,对于具有可见光和近红外四个波段的高分辨率遥感影像来说,x和y均为格式为 $\{b_1, b_2, b_3, b_4\}$ 的四维向量, $b_i, i = \{1, 2, 3, 4\}$ 表示像素在四个波段上的表观反射率。

[0106] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体

[0107] 实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

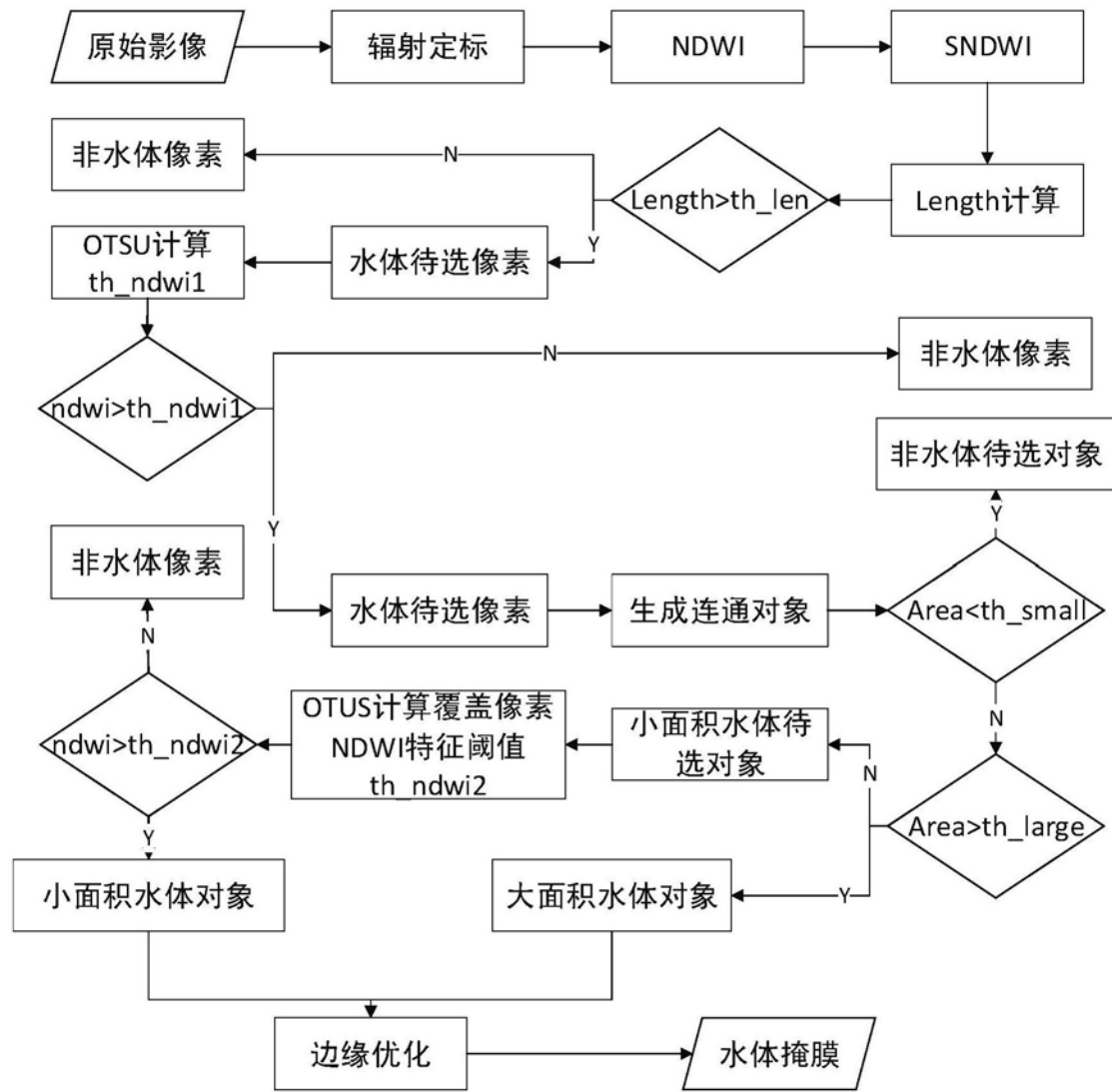


图1

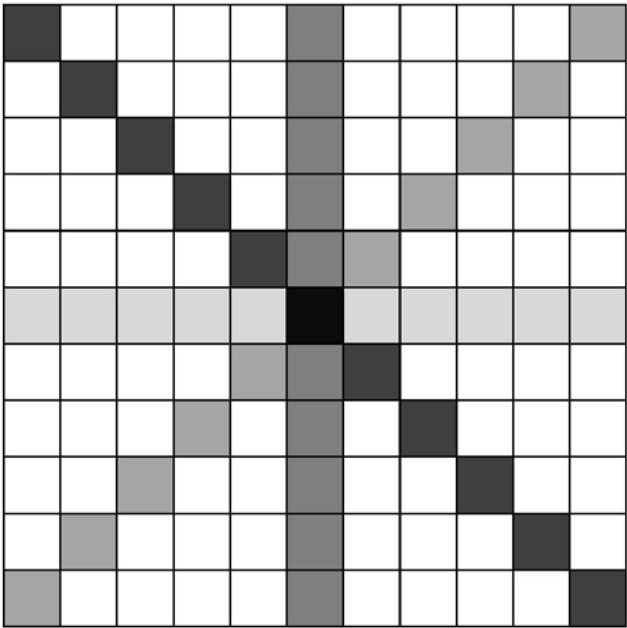


图2

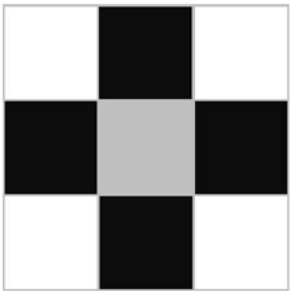


图3a

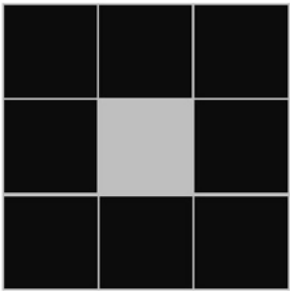


图3b