

一种快速提取不透水面的新型遥感指数

徐涵秋¹

(1 福州大学环境与资源学院空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室,福州市福州大学城学园路2号,350108)

摘要:首次采用复合波段的形式创建了归一化差值不透水面指数(normalized difference impervious surface index, NDISI)。它可以用于大区域范围内快速、自动地提取不透水面信息。通过 Landsat ETM⁺和 ASTER 两种影像的实验证明,新的指数能够有效地增强不透水面信息,并具有较高的提取精度。

关键词:不透水面; NDISI; 遥感

中图法分类号:TP751.1

城市不透水面是指城市中由各种不透水建筑材料所覆盖的表面。当前,利用遥感技术估算不透水面的方法可大致分为4种:①通过对各种影像的解译和分类手工或半自动获取不透水面信息^[1];②通过将影像的分类结果和源于其他数据生成的不透水面系数进行计算来求得不透水面面积^[2];③通过线性光谱分解模型(LSMA)和最小噪音(MNF)变换估算不透水面面积^[3,4];④利用不透水面和其他地类(如植被)的关系获取不透水面信息^[5]。后两种方法主要是基于 Ridd 提出的 VIS 模型^[3],在此模型的基础上,许多学者进行了研究^[4-6]。但是,迄今为止,尚无一种能够自动增强和提取不透水面信息的遥感指数。本文在深入研究不透水面地类的光谱特征后,以福州、厦门两地为例,提出了一种用于不透水面信息快速增强和提取的新型遥感不透水面指数。

1 基本原理和方法

自 Rouse 等人引入归一化差值植被指数(NDVI)以来^[7],已有不少类似的归一化差值型指数出现。它们可以不借助其他的影像数据而单独使用,且计算简单,方便实用,因此得到了广泛的应用。这些归一化指数创建的基本原理就是在多光谱波段内寻找出所要研究地类的最强反射波段和最弱反射波段,将强者置于分子,弱者置于分母,通过归一化比值运算,进一步扩大二者的差

距,使感兴趣的地物在所生成的指数影像上得到最大的亮度增强,而其他背景地物则受到普遍的抑制。这一原理也是本文新指数创建的基本原理。

城市是多种土地覆盖类型的综合体,其主要部分除了以水泥建筑物为主的不透水面以及植被、水体以外,还有局部出露的沙土。由于沙土的光谱特征与水泥不透水面十分接近,所以经常在所提取的不透水面信息中形成噪音,这也是前人工作中存在的一个常见问题^[4,6]。因此,新指数的建立必须有效地解决这一问题。

目前,许多不透水面信息提取的遥感方法都是基于 Ridd 的 VIS 模型。由于该模型并不考虑城市生态系统的另一个重要成分——水体,所以这些方法在一开始就必须先进行剔除水的预处理工作,增加了工作量,并有可能在剔除过程中产生一定的误差。因此,本文创建的新指数将不进行剔除水的预处理工作。

根据前述指数创建的基本原理,首先必须研究不透水面的电磁波谱特征,寻找出它的强反射波段和弱反射波段。但是组成不透水面物质的成分是复杂的,不同的不透水面物质有着不同的反射光谱特征。文献[8]的研究结果表明,不透水面物质的复杂性导致很难找出合适的波长范围来进行区分。因此,本文从其共性着手进行分析。

通过考察城市遥感影像中主要地类的反射光谱特征可以发现,各种不透水面建筑材料普遍具有以下共性:它们在热红外波段的辐射率很高,

但在近红外波段的反射率却很低(见封三彩图 1(a))。根据这一共同特点,按照上述归一化指数的创建原理,利用二者的比值运算就可以增强这些不透水面的信息。这一比值的意义是显而易见的,以水泥类为主的不透水面具有很高的热辐射能力,但却不具备植被生长的条件,因此,以表征地物热辐射能力的热红外波段和代表地表植被生物量的近红外波段为基本框架构成的比值运算,可以最大程度地突出不透水面信息。

但从封三彩图 1(b)(2003-05-29 ETM⁺ 原始影像)可以看出,土壤、沙地和水体也具有类似的光谱特征。因此,如果仅采用热红外与近红外波段的比值运算,其所增强的不透水面信息中必然会混有许多沙土和水体的信息。显然,不透水面物质的复杂性使得用传统的单波段比值增强法来构成新的指数是不可行的。因此,本文创建了复合波段比值法来构建指数。通过分析可以发现,虽然土壤、沙地和水体在热红外和近红外波段处的光谱特征与不透水面相似,但土壤和沙地在中红外的第 1 波段和可见光波段的蓝、绿或红光波段处均具有比不透水材料高的反射率,而水体在可见光波段处的反射率可高于(见封三彩图 1(b))或低于(见封三彩图 1(c))(2002-09-06 ASTER 影像,热红外取其第 10 波段。热红外波段和 MNDWI 波段都已进行 0~255 级拉伸)不透水材料。因此,可在不透水面地类原来弱反射的近红外波段的基础上,进一步加入中红外 1 和可见光中的某一波段,构成不透水面地类的弱反射组,以区别于土壤、沙地和水体。这样,不透水面信息就可以用下列复合波段组成的 NDISI 指数来增强:

$$NDISI = \frac{TIR - (VIS_1 + NIR + MIR_1)/3}{TIR + (VIS_1 + NIR + MIR_1)/3} \quad (1)$$

式中,NIR、MIR₁ 和 TIR 分别为影像的近红外、中红外 1 和热红外波段;VIS₁ 代表可见光中的某一波段;NDISI 也是一种比值型归一化指数,称为归一化差值不透水面指数。将式(1)中括号里的弱反射组除以 3,是为了避免分子太小、分母太大而造成指数值偏低,并保证不透水面信息呈正值,沙土、植被和水体信息普遍呈负值(见表 1),从而可以扩大不透水面和沙土、植被、水体的反差,抑制这些背景地物的信息,增强不透水面信息(见封三彩图 2)。新 NDISI 具有归一化指数的特征,即指数值介于-1 和+1 之间;被增强的信息大于 0,受抑制的信息普遍小于或等于 0,这就有利于

所增强信息的快速自动提取。

表 1 福州城区主要地类在新的不透水面指数影像中的数值特征(波段组合 2、4、5、6)

Tab.1 Values of Fuzhou City Main Land Cover Classes in NDISI Image Derived from ETM⁺ Bands 2,4,5,6

	不透水面	沙地	土壤	植被	水体
最小值	0.198	-0.125	-0.110	-0.377	-0.827
最大值	0.474	0.053	-0.010	-0.029	-0.384
平均值	0.365	-0.031	-0.067	-0.214	-0.573
标准偏差	0.064	0.029	0.022	0.062	0.079
与不透水面的均值差		0.396	0.432	0.579	0.938

式(1)中的中红外 1 波段主要用于区分不透水面和沙土,可见光波段用于区分不透水面和水体。但是,当水体在可见光处的反射率低于不透水面地类时(如封三彩图 1(c)),采用式(1)增强的不透水面信息中会含有水的噪音。通过研究发现,用原始波段衍生的水体指数波段可以有效地解决这一问题,即将式(1)中的可见光波段替换为水体指数波段,以进一步扩大水体和不透水面的反差(封三彩图 1(c))。则式(1)可以改写为:

$$NDISI = \frac{TIR - (MNDWI + NIR + MIR_1)/3}{TIR + (MNDWI + NIR + MIR_1)/3} \quad (2)$$

式中,MNDWI 即为改进型归一化水体指数:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR_1}{Green + MIR_1} \quad (3)$$

Green 为绿光波段。

为了检验新指数的有效性,避免偶然性,分别采用不同卫星平台的多光谱影像和不同的城市来对新指数进行验证。所选的城市和影像分别为厦门市 2002 年 9 月 6 日的 ASTER 影像和福州市 2003 年 5 月 29 日的 ETM⁺ 影像。由于两幅影像的质量完好,为了验证 NDISI 指数的简易性和有效性,两幅影像都不进行任何预处理,仅需要对热红外波段作 0~255 灰度级的线性拉伸,以转换为和其他波段一致的 8 位值。如果采用式(2)增强不透水面信息,也必须将 MNDWI 波段作 0~255 级的线性拉伸。

将福州影像按式(1)反演出不透水面指数图(封三彩图 2(b)),而厦门岛影像由于其水体的反射率低于不透水面地类(封三彩图 1(c)),所以采用式(2)反演其不透水面信息(封三彩图 2(a))。接着进一步采用阈值法将不透水面信息提取出来(封三彩图 2(e),2(f)),并进行精度验证。精度验证选用时相接近的高分辨率 SPOT5 影像作为验证的对比材料(福州:2003-12-14,厦门:2003-

05-30)。验证前,先将高分辨率的 SPOT5 影像输入计算机,用 ER Mapper™ 软件的 Geolink 功能将它与待验证的影像匹配在一起,然后采用随机抽样的方法进行人机交互。为了全面地验证指数的有效性,对影像分别进行了多种波段组合以及

不同阈值提取效果的验证。将式(1)中的可见光波段分别用蓝光、绿光、红光波段(即 ETM⁺ 的 1、2、3 波段)代入计算,获得 3 幅不透水面信息增强图,然后将它们分别用默认阈值(0)和人工判读选取的阈值来提取不透水面信息(见表 2)。

表 2 福州影像精度验证表

Tab. 2 Accuracy Assessment of Fuzhou Image

	指数波段组合: 1456, 阈值取 0.039				指数波段组合: 2456, 阈值取 0.104 8				指数波段组合: 3456, 阈值取 0.102 8			
	不透水面	非不透水面	行合计	使用者精度/%	不透水面	非不透水面	行合计	使用者精度/%	不透水面	非不透水面	行合计	使用者精度/%
不透水面	325	38	363	89.5	325	35	360	90.3	324	42	366	88.5
非不透水面	27	273	300	91.0	27	276	303	91.1	28	269	297	90.6
列合计	352	311	663		352	311	663		352	311	663	
生产者精度/%	92.3	87.8			92.3	88.8			92.1	86.5		
总精度/%	90.2				90.7				89.4			
Kappa	0.803				0.812				0.788			
	阈值取 0				阈值取 0				阈值取 0			
不透水面	347	92	439	79.0	348	109	457	76.2	344	117	461	74.6
非不透水面	5	219	224	97.8	4	202	206	98.1	8	194	202	96.0
列合计	352	311	663		352	311	663		352	311	663	
生产者精度/%	98.6	70.4			98.9	65.0			97.7	62.4		
总精度/%	85.3				83.0				81.2			
Kappa	0.701				0.651				0.616			

2 结果和讨论

从封三彩图 2(a)、2(b)中可以看出,不透水面信息在两幅影像中得到了极大的增强。红色的高不透水面比例区主要分布在城区,青蓝色的低不透水面比例区分布在郊区,蓝色则代表水体。精度验证结果表明,新指数具有较高的精度。从厦门影像中随机抽取 802 个样本,总精度达 90.83%,Kappa 系数为 0.815;从福州市随机抽取 663 个样本,总精度达 90.70%,Kappa 系数为 0.812。

以福州为例进行分析。从表 2 可以看出,即便用默认的阈值 0,新指数也可获得 85.3%的总精度(组合 1456),这就有利于不透水面信息的自动提取。如果选用人工阈值,则总精度最高可达 90.7%(组合 2456)。进一步分析表 2 可以发现,当阈值取 0 时,主要表现为误判,即将一部分非不透水面的地类判为不透水面,而较少出现漏判;而当选用人工阈值时,明显减少了误判,但由于人工阈值提高了入选的门槛,所以也出现了部分不透水面信息的漏判,但二者之和明显小于阈值为 0 的情况,所以精度得以提高。从结果来看,土壤可以正确地与不透水面区别开来,但仍有少量沙体被误判为不透水面(主要为河中心的沙体,见封三彩图 2(b)的 A 处),由于沙体具有很高

的热辐射能力,所以在热红外波段有很高的亮度值,虽经过式(1)的抵消作用后,大部分沙体呈负值被抑制,但仍有极少部分具有极高热辐射值的沙体以正值的形式出现(表 1 中沙体的均值为负值,但极大值为正值)。虽然可以通过提高阈值来进行剔除,但经过实验发现会造成更多的漏分,所以它们还是被保留下来,从而影响了提取精度。

封三彩图 2(c)、2(d)分别是用 LSMA-MNF 法和 Carlson 法获得的两幅福州城区的不透水面图。不难看出,这两幅图中都存在着两个普遍的问题,即增强的不透水面信息中混入了许多沙土(A 处)和山体阴影(B 处)信息。前述的 Yang 等的方法也存在着难以区分土壤和不透水面信息的问题^[6]。从方法上看,LSMA-MNF 法提取不透水面信息的基本做法是将经过 MNF 变换分解后获得的高反照率分量和低反照率分量相加来作为不透水面信息。但由于干土壤和沙地同样也会呈现高的反照率,而潮湿的土壤、阴影和水体则表现为低的反照率,所以用高、低反照率之和来提取的不透水面信息就难免会混有沙地、土壤、水体和阴影的信息,因此,只有做大量的预处理工作来剔除这些信息^[4]。而 Carlson 的方法只是简单地基于一种植被因子来提取不透水面,把除水以外的非植被信息都归为不透水面(水已预先剔除),所以混入沙土在所难免。与之相比,新指数反演的不透水面图基本上没有阴影的信息,沙土的信息也

明显得到弱化,在利用阈值提取的图中基本可以剔除(见封三彩图 2(f))。这是由于新指数的构成中有针对性地考虑了沙土和水体因素,因此可以抑制它们的信息,不需要预先进行剔除工作。另外,由于新指数采用的是比值算法,各波段共有的信息会在比值运算中相互抵消,所以可以削弱阴影的影响。

3 结 语

由于热红外波段的分辨率不高,虽然通过和其他较细分辨率波段进行的指数运算可在一定程度上起到融合的效果,提高其分辨率,但仍存在混合像元的问题,因此,NDISI 指数对于高分辨率的不透水面制图具有一定的局限性。

参 考 文 献

- [1] Jennings D B, Jarnagin S T, Ebert C W. A Modeling Approach for Estimating Watershed Impervious Surface Area from National Land Cover Data 92 [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, 70(11): 1 295-1 307
- [2] Prisloe S, Lei Y, Hurd J. Interactive GIS-based Impervious Surface Model [C]. ASPRS 2001 Annual Convention, St. Louis, MO, 2001
- [3] Ridd M K. Exploring a VIS (Vegetation-Impervious Surface-Soil) Model for Urban Ecosystem Analysis Through Remote Sensing: Comparative Anatomy for Cities [J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(12): 2 165-2 185
- [4] Wu Changshan, Murray A T. Estimating Impervious Surface Distribution by Spectral Mixture Analysis [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84 (4): 493-505
- [5] Carlson T N, Arthur S T. The Impact of Land Use; Land Cover Changes Due to Urbanization on Surface Microclimate and Hydrology: a Satellite Perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25(1): 49-65
- [6] Yang Xiaojun, Liu Zhi. Use of Satellite-Derived Landscape Imperviousness Index to Characterize Urban Spatial Growth [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29 (4): 524-540
- [7] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS[C]. The 3rd ERTS Symposium, Washington D C, USA, 1973

作者简介:徐涵秋,教授,博士,博士生导师。现主要从事环境资源遥感应用研究。

E-mail: fdy@public. fz. fj. cn

A New Remote Sensing Index for Fastly Extracting Impervious Surface Information

XU Hanqiu¹

(1 Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing, Ministry of Education, College of Environment and Resources, Fuzhou University, 2 Xueyuan Road, University Town in Fuzhou, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Based on the spectral characteristics of the impervious materials, a new index, normalized difference impervious surface index (NDISI), for enhancing and extracting ISA using a band combination method, is put forward. The applications of the index in landsat and ASTER images show that the new index can efficiently enhance ISA while suppress background noise. It can be used in a fast extraction of ISA in a large region.

Key words: impervious surface; NDISI; remote sensing

About the author: XU Hanqiu, professor, Ph. D., Ph. D supervisor, majors in RS applications in environment and natural resources.
E-mail: fdy@public. fz. fj. cn