

基于 HCS 方法融合高时空遥感数据的 玉米种植面积提取

刘玉梅,杨文波,马运涛

(沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 提出一种利用高空间分辨率 Landsat8 OLI 全色影像和高时间分辨率 MODIS 影像进行融合的方法,构建出高时空分辨率遥感数据,提供一种监测农作物种植面积新思路,为农业生产信息化奠定科学的理论依据. 方法 以沈阳市法库县为例,基于色彩超球面锐化(HCS)方法,利用多光谱 Landsat8 OLI 全色影像数据与 MODIS-NDVI 时间序列数据相结合的手段,对其进行预处理后,根据该地区的物候数据和具有可信度的样本数据进行面积估算,并统计出玉米种植面积的制图精度和用户精度;对 Landsat8 OLI 全色影像数据和 MODIS-NDVI 时间序列数据进行融合处理,再利用马氏距离分类法对高时空分辨率遥感数据进行玉米种植面积提取. 结果 融合后的高时空遥感数据对玉米种植面积的识别效果较好,制图精度和用户精度分别达到 89.62%、99.71%. 结论 HCS 方法适用于高时间数据和高空间数据的融合,融合后的影像保持了原有的光谱特征及空间细节纹理.

关键词 时空数据融合;地物分类;种植面积;HCS 方法

中图分类号 TU98; X87

文献标志码 A

Research of Maize Planting Area Extraction Based on High Spatial-temporal Remote Sensing Data by HCS Fusion

LIU Yumei, YANG Wenbo, MA Yuntao

(School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The method which is combination of Landsat8 OLI panchromatic image but also and MODIS image of high temporal resolution is proposed to construct remote sensing data with high temporal and spatial resolution for monitoring crops planting area, which will lay a scientific theoretical basis for the information of agricultural production. Faku County of Shenyang is taken as an example. Its area is pretreated by the combining of multi spectral Landsat8 OLI panchromatic image data and MODIS-NDVI time series data on the basis of the HCS method. According to the

收稿日期:2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51178277);辽宁省教育厅一般项目(L2013232)

作者简介:刘玉梅(1961—),女,副教授,主要从事测绘工程研究.

phenological data of the area and sample data with credibility, the size of the area is estimated and mapping precision and user accuracy of corn planting area are counted out; Based on the fusion of Landsat8 OLI panchromatic image data and MODIS-NDVI time series data, the area of corn planting is extracted from high temporal and spatial resolution remote sensing data by Mahalanobis distance classification. The recognition performance of fused high temporal and spatial remote sensing data on corn planting area is good enough, and the mapping accuracy and user accuracy reached 89.62% and 99.71% respectively. HCS method is applicable to the fusion of high temporal data and high spatial data, and the fused image keeps the spectral characteristic and the spatial texture details of the original.

Key words:temporal spatial data fusion; ground object classification; planting area; HCS method

色彩超球面锐化方法 (Hyperspherical Color Sharpening, HCS) 是一种适用于多波段影像的融合方法, 利用 HCS 方法融合 Landsat8 OLI 全色影像和高时间分辨率 MODIS 影像构建高时空遥感数据是提取二者优势信息的一个特别有效的方法. 近些年, 国内外学者已经开始利用高时空分辨率数据开展不同方向的研究工作. 谢登峰等^[1] 利用 Landsat8 OLI 和 MODIS 两种数据的融合数据利用整景影像获取地物平均反射率用于秋粮作物的提取; 李鑫川等^[2] 基于时间序列遥感数据作物的识别方法, 并借助决策树分类的方法提高了农作物分类的准确性. 目前还很少有学者通过高分辨率影像的真实地表反射率结合中低分辨率影像的时间序列信息进行农作物种植面积的提取. 基于此, 笔者以沈阳市法库县范围内的玉米种植区域为例, 利用两种不同的遥感卫星数据作为其玉米种植面积自动化提取的源数据, 探讨提取玉米面积信息最佳的数据组合, 为今后农业生产信息化提供了相应的科学理论依据.

1 基于 HCS 方法提取玉米种植面积的技术路线

中国拥有广阔的经济作物种植范围, 各个区域农作物种植种类众多而复杂, 同时期各种作物生长状况不易区分, 极易产生“异物同谱”现象, 这对如何挑选不同农作物样本遥感数据的难度增大很多; 然而夏、秋季节

各种经济作物生长期内有极多的云雨天气, 极大地增加了提取有效遥感数据的难度, 对利用遥感技术识别农作物种类、面积及农作物估产等技术提取带来了困难^[3-5]. 笔者提出一种利用高空间分辨率 Landsat8 OLI 全色影像和高时间分辨率 MODIS 影像进行融合的方法, 对玉米种植面积进行提取. 基于 HCS 方法融合高时空遥感数据的玉米种植面积提取的整体技术路线如图 1 所示.

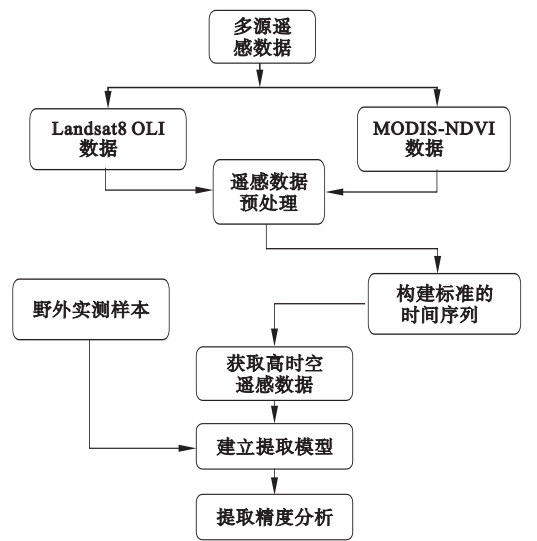


图1 基于 HCS 方法融合高时空遥感数据的玉米种植面积提取技术路线

Fig. 1 Technical route of Corn planting area extracted based on the high Spatial-temporal Remote Sensing Data by HCS Fusion

2 遥感数据预处理

在理想情况下, 卫星影像的灰度值只与

太阳照射到地面的辐射强度和地物的反射率有关^[6-7].但实际上,由于大气层的存在以及传感器内检测器性能的差异,会使影像产生辐射畸变,同时由于卫星飞行时的姿态变化和地球形状、地表形态等因素的影响,使影像产生几何畸变^[8].遥感数据的预处理主要是对原始的遥感影像进行波段选择、几何校正、图像增强、镶嵌与裁剪等处理,经过处理的图像更加清晰,有利于识别和解释,为农作物种植面积信息的提取提供必要的数据基础.

2.1 辐射定标

数据量化的基本前提是辐射定标,定标精度决定了数据后续量化应用水平^[9-12].

2.2 几何精校正

几何精校正包含空间位置精计算和内插亮度值2个步骤.

(1)位置计算

几何校正前后影像中图像点位之间的相对关系的数学表达式为

$$\begin{cases} x=f_x(x',y') \\ y=f_y(x',y') \end{cases} \tag{1}$$

式中:(x,y)为原始图像坐标;(x',y')为位置计算后变换的坐标.

其解算多像元空间位置的数学表达式为

$$\begin{cases} X=\sum_{i=0}^n\sum_{j=0}^{n-1}a_{ij}x^iy^j \\ Y=\sum_{i=0}^n\sum_{j=0}^{n-1}b_{ij}x^iy^j \end{cases} \tag{2}$$

式中:(X,Y)为图像参考坐标; a_{ij},b_{ij} 为多项式系数, n 是多项式次数.

在原图像和地形图之间寻找几何对应点,即地面控制点,然后利用地面控制点在原图像和现有地形图两幅图像上的已知坐标,利用最小二乘法计算改正系数 a_{ij} 和 b_{ij} ^[13].图像几何精校正后的精度取决于在校正过程中所选用的地面控制点数量、定位精度及点位分布情况.应用均方根误差计算定位几何

精度.

$$R=\sqrt{(x_t-x_i)^2+(y_t-y_i)^2}, \tag{3}$$

$$T_R=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^n[(x_t-x_i)^2+(y_t-y_i)^2]}. \tag{4}$$

式中: R 为一次均方根误差; T_R 为多次叠加均方根误差; x_t 和 y_t 为未经过精校正图像上地面控制点的实际坐标值; x_i 和 y_i 为经过多项式反复计算赋给地面控制点的计算坐标值.

(2)辐射亮度值内插

通过计算相对位置后所找到的对应 x 和 y 值,很大一部分不在原有的像元中心位置,因此需要重新计算准确的新位置辐射亮度值,亮度值的内插又叫重采样.笔者应用三次卷积内插法取相邻像元十六个点的亮度值,构建连续的内插函数再通过相应计算得到既不会产生线性特征方块化现象,又提高了采样精度,并改善了目视解释效果的平滑图像.

2.3 大气校正

通过 ERDAS IMAGING 2014 中集成的 ATCOR 模型对 Landsat8 OLI 全色影像数据进行大气校正操作. ATCOR 是一个应用于高分辨率光学卫星传感器的快速大气校正模型^[14-16].

2.4 图像融合

图像融合操作是指将遥感数据影像按照特定的算法,应用合理的空间地理坐标系,生成具有高分辨率和光谱信息相对丰富的新图像过程^[17-19].

(1)主成分变换融合

主成分变换融合($K-L$ 变换)是指在统计图像基本特征的基础上进行高维线性变换,具有压缩数据,图像方差信息提炼的作用^[20].主成分变换融合后,在研究区域内一些必要的像元值结果为零.经过分析发现这些像元值分布在作物种植区域内,就意味着这些像元会影响以后的分类结果及影像精度.

(2)乘法变换融合

乘法变换融合是利用基础的乘法算法直接对两类不同的遥感原始数据进行融合.它是由 Crippen 的 4 种分析方法变换而来,乘法变换融合的数学函数式 B_{MLT} 为

$$B_{MLT} = \sqrt{\sum_j \sum_k agB_{ijk} \times bgB_{bjk}}. \quad (5)$$

式中: a, b, g 为参考系数; j, k 为运算次数; B_i, B_j 为遥感数据像元值.

在乘法变换融合的结果中,90% 的像元值均为同一个值,完全不具有融合前单一数据的属性特征,无法用来作为分类数据.

(3)色彩空间(IHS)变换融合

在彩色影像色度学中,把影像的红(R)、绿(G)、蓝(B)转换成亮度(I)、色度(H)、饱和度(S)即称作 IHS 变换融合,且其互为反变换,色彩空间变换融合的数学函数式为

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \\ H = \arctan\left(\frac{V_1}{V_2}\right), \\ S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}. \end{cases} \quad (6)$$

式中: I 为亮度、 H 为色度、 S 为饱和度; V_1, V_2 为色彩空间变换量.

IHS 变换融合在数据处理过程中无法识别由单一 MODIS - NDVI 数据组合而成的时间序列数据,故无法进行下一步处理.

(4)小波变换融合和高通滤波 (HPF) 变换融合

小波变换融合后其影像中水体区域受周围 NDVI 值较小地物的影响后,融合结果为零值会直接影响分类结果;而 HPF 变换融合,虽然图像目视解译效果较好,水体等周围区域也均有可信值,但是在空地区域的像元

值也为零,故也得舍弃.

(5)HCS 方法融合

多维超球面空间与多维 Cartesian 空间相互转换根据相应的标准定义,基于此可以进行原始超球面色彩空间和原始色彩空间之间转换.对于一个具有 N 个波段的遥感图像而言,它在超球面上具体表现为一个强度 I 分量和 $N - 1$ 个角度分量. HCS 方法融合的数学函数式为

$$I = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \cdots + x_n^2}, \quad (7)$$

$$\varphi_1 = \arctan\left(\frac{\sqrt{x_n^2 + x_{n-1}^2 + x_{n-2}^2 + \cdots + x_2^2}}{x_1}\right), \quad (8)$$

$$\varphi_{n-2} = \arctan\left(\frac{\sqrt{x_n^2 + x_{n-1}^2}}{x_{n-2}}\right), \quad (9)$$

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{x_n}{x_{n-1}}\right). \quad (10)$$

式中: x_i 为原始色彩空间的第 i 分量.

HCS 方法融合的数学函数数学逆变换为

$$x_1 = I \cos \varphi_1, \quad (11)$$

$$x_2 = I \sin \varphi_1 \cos \varphi_2. \quad (12)$$

$$x_{n-2} = I \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cdots \sin \varphi_{n-2} \cos \varphi_{n-1}, \quad (13)$$

$$x_n = I \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cdots \sin \varphi_{n-2} \sin \varphi_{n-1}. \quad (14)$$

HCS 融合方法适用于多波段的影像融合,该方法是将多个波段的遥感数据通过构建模型转换到超球面色彩空间并对全色波段 I 分量进行模拟,获取锐化的全色波段 I 分量,最后进行数据的逆转换获得的融合影像.

HCS 方法融合后的遥感影像目视解译效果较好,而且在单一数据值较小的区域内没有无效值出现的情况,也没有像 HPF 融合方法中在一些个别区域有零值的情况.农作物、水体等区域也表现出区别于其他数据的不同属性,具有最佳的融合效果.

3 基于 HCS 方法玉米种植面积提取

3.1 研究区概况

法库县位于辽宁省北部,地处辽河中游

右岸.地理坐标为北纬 40°8'46"~42°39'29",东经 122°44'23"~123°45'14",区域面积 2 320 km².属于典型的大陆性季风气候,年平均气温为 6.7℃,极端最高温度 35.1℃,极端最低温度为-30.6℃.多年平均降雨量为 600 mm,降水总量 13.92 亿 m³.平均日照时数 2 800.8 h,而 4~9 月份农作物生育期日照时数平均为 1 521 h,较作物生育期的需要有剩余.法库县地势平坦,水源丰沛,良田连片,是辽宁省传统的农业种植基地,主要农作物有水稻、玉米、大豆、花生等经济作物.其中玉米在 4 月下旬播种,5 月上旬出苗并进入苗期阶段,6 月下旬进入拔节阶段,7 月上旬到中甸期间进入抽雄阶段,8 月上旬到中甸进入乳熟阶段,8 月下旬到 9 月上旬就可以成熟收获.

3.2 野外样本数据内插和外推

如图 2 所示为已有的样本数据不能均匀分布在整个研究区域,笔者需要增加一些有特征性的样本. GOOGLE EARTH 软件提供的影像样本数据能满足目前所有实验数据要求,无疑是判读样本数据的最佳选择.将原有的样本数据与 GOOGLE EARTH 中样本所覆盖的影像通过叠加对比分析,发现 GOOGLE EARTH 软件所提供的影像与样本边界很好的重叠效果,精度得到了很好的验证(见图 3).



图 2 已有样本分布图

Fig. 2 The distribution map of the existed samples

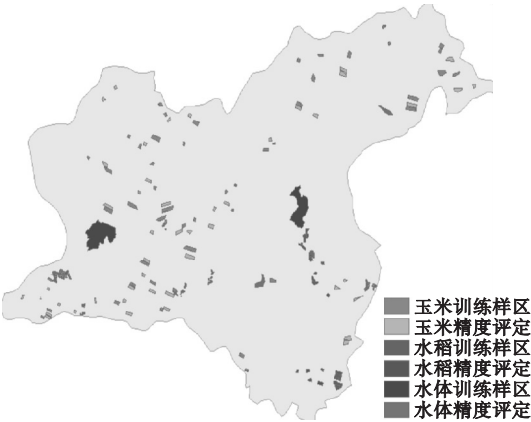


图 3 改进样本分布图

Fig. 3 The distribution map of the improvement samples

3.3 典型地物的分类

归一化植被指数(NDVI)是表达植被生长状况和空间分布的遥感数据,它用以监测地球上任何位置的植被生长状态,覆盖程度和用来消除大部分辐射误差等功能.其数值在-1~1 范围,负值代表地面空间被云、水、雪等覆盖;0 值代表山岩、土地等;正值代表地表有植被覆盖,且其数值随着植被覆盖程度的增大而线性增大.其数学表达式为

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \tag{15}$$

式中:*NIR* 为近红外波段反射率数值,*R* 为可见光波段的反射率数值.

通过 ENVI5.1 软件将中分辨率成像光谱仪(MODIS)数据按照时间先后顺序组合并输出,再裁剪感兴趣区域并调整数据储存类型提取相应采样点数据,在通过专业制图分析软件 ArcGIS10.1 软件将采样点逐一获取像元值.再分析剔除不合理的采样点,并取平均值,并将所有类型的数据整合到一张折线图中显示(见图 4).

从图 4 可以看出,水域的 NDVI 值不会随时间改变发生很大的波动,应长久保持在一个很低的范围内.居民地的 NDVI 值由于受到其周围景观灌木的影响会表现出细微的植被 NDVI 的信息特征.山林地区在5月中

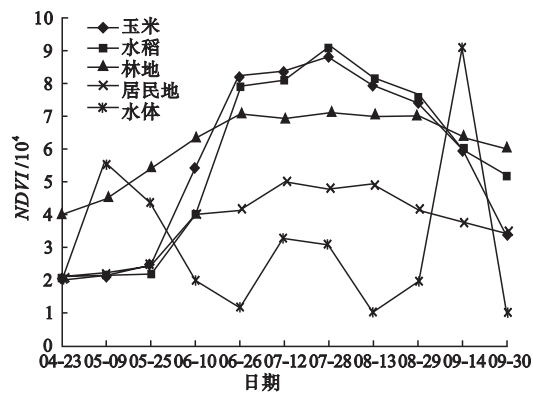


图4 典型地物 NDVI 曲线

Fig. 4 The typical features of NDVI curve

下旬开始逐渐长出大量的植被,其 $NDVI$ 值会随时间的变化持续升高. 水稻的播种插秧时间一般在历年 5 月的下旬,随着时间的变化,该范围内的地表覆盖类型会经历裸地-水体-植被的变化过程, $NDVI$ 值应该先降低后升高的变化特征. 8 月水稻在孕穗、抽穗的生长阶段,其长势也是一年之中最旺盛的时期,对应 $NDVI$ 也应变化到较高的区间. 春玉米在 5 月下旬已经开始出苗,此时玉米的 $NDVI$ 要高于同时期水稻的 $NDVI$ 值. 到了 7 月下旬拔节抽雄时期的玉米生长态势最旺盛,此时的 $NDVI$ 也最高. 另外,根据玉米和水稻作物的物候历特点,在 8 月左右,水稻抽穗后其稻穗与水稻植株的颜色反差较小,而玉米顶端的雄穗与玉米植株的颜色会有较大的反差,这可能会导致玉米对红外波段和近红外波段的反射率发生变化,使得水稻和玉米的 $NDVI$ 有所差异,便于区分两种主要农作物.

融合后研究区各类典型地物的 $NDVI$ 变化趋势是符合的未融合的 $NDVI$ 时间序列曲线的变化规律. 能有效地区分出各种典型地物,能作为后续的分类数据集. 融合后研究区各类典型地物的 $NDVI$ 变化曲线如图 5 所示. 融合前典型地物 $NDVI$ 曲线和融合后典型地物 $NDVI$ 曲线拟合如图 6 所示.

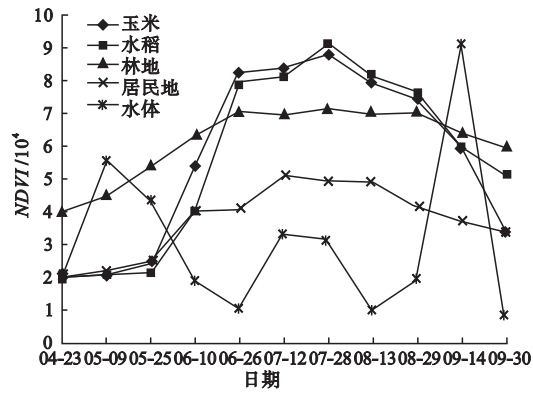


图5 融合后典型地物 NDVI 曲线

Fig. 5 The typical features of NDVI curve after fusion

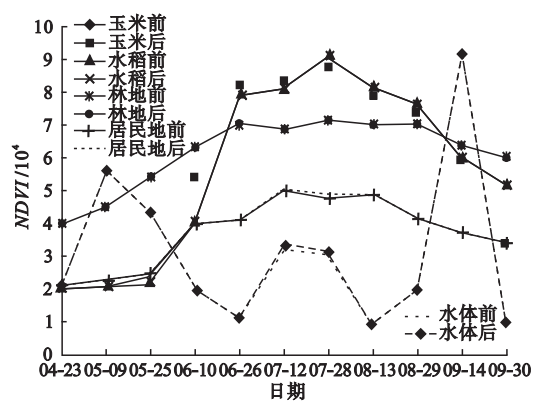


图6 融合前后 NDVI 值对比

Fig. 6 The value of NDVI before and after fusion

3.4 玉米种植面积提取分析与精度评定

通过对利用 HCS 方法融合后的高时空遥感数据集进行分析,发现该数据既保留了融合前 MODIS 时间序列数据的光谱性,又提高了分辨率. 符合最初预想的效果,现对其进行分类,提取玉米种植面积.

采用马氏距离法将融合前的 MODIS 时间序列数据,融合后的高时空分辨率数据和 Landsat8 全色影像同期的多光谱数据进行分类. 根据分类结果评价高时空分辨率数据的分类效果. 选择需要对其进行分类的数据及分类的训练样区,设置标准差阈值和距离阈值并查看分类结果. 依次对 MODIS 时间序列数据分类(见图 7),融合后的高时空分辨率数据如图 8 所示. Landsat8 全色影像同期多光谱数据分类如图 9 所示.

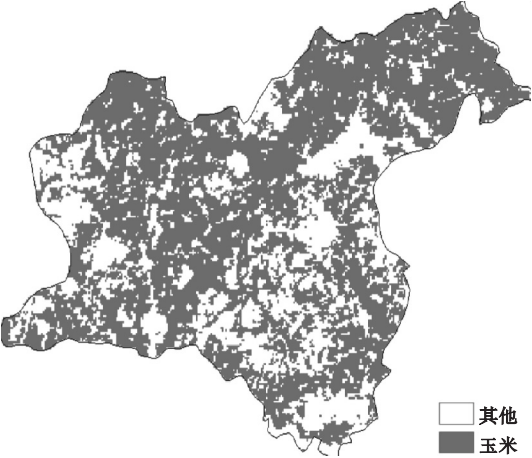


图 7 MODIS 时间序列分类结果

Fig. 7 The classification results of NDVI time series

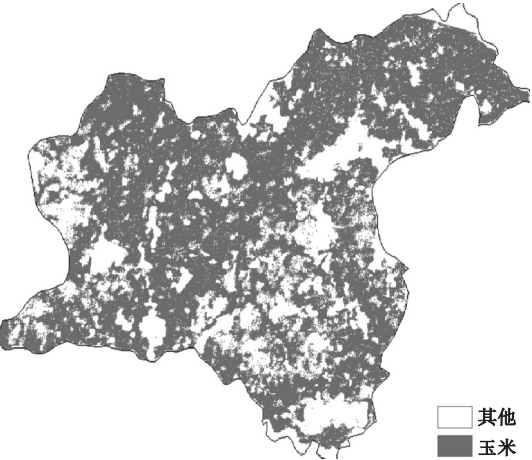


图 8 融合后数据分类结果图

Fig. 8 The classification result of merged data

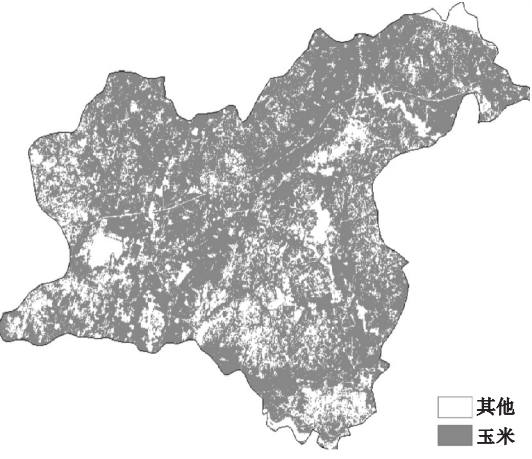


图 9 多光谱数据分类结果

Fig. 9 The classification results of multispectral data

融合后的高时空分辨率数据的分类结果中有一些小的图斑和地块,不能直接进行分类精度评定,需要对其进行主成分分析,将较小的图斑合并该图斑所属的类别中. 选择全部分类并设置分析方法,再选择变换核大小并输出. 在新窗口中查看处理后结果,再用之前用于精度评定样本数据对 3 种数据分类结果进行精度评价(见表 1).

表 1 不同数据玉米分类精度

Table 1 Classification accuracy from different data				
数据类别	制图精度/%	用户精度/%	总体精度/%	卡帕系数
融合后数据	89.62	99.71	88.93	0.718 9
MODIS 数据	89.37	99.56	89.03	0.711 9
多光谱数据	93.42	99.14	92.52	0.792 2

通过对比提取结果发现 3 种数据精度评定结果都基本满足分类精度要求,如果仅通过混淆矩阵来评价分类结果,就会以多光谱数据的分类结果作为最优化结果. 然而放大细节图不难发现多光谱数据的分类精细效果并不理想(见图 10). 在一些农作物道路区域被分成玉米种植区,致使整个视图效果显得冗余,脉络不清晰. 此数据分类结果中由于包含其他农作物数据,所以导致精度评定中精度指数较高. MODIS 数据分类结果细节图中几乎没有任何纹理脉络(见图 11). 完全不能区分田间道路和农田,这与 MODIS 数据 250 m 的空间分辨率有很大关系,所以单用此数据获得精确玉米种植面积是不可取的,通过融合 Landsat8 全色影像和 MODIS 时间序列数据进行分类的细节图表现出较好的农田种植纹理脉络(见图 12). 农作物耕种田埂等细节信息的保留比多光谱数据和 MODIS 时间序列数据要精确得多,而且根据不同农作物的物候历信息,MODIS 时间序列数据刚好可以根据不同时期农作物的长势情况将试验区域内的玉米和其他种类农作物分离出来,两种数据结合分类准确度自然也会显著的提高.

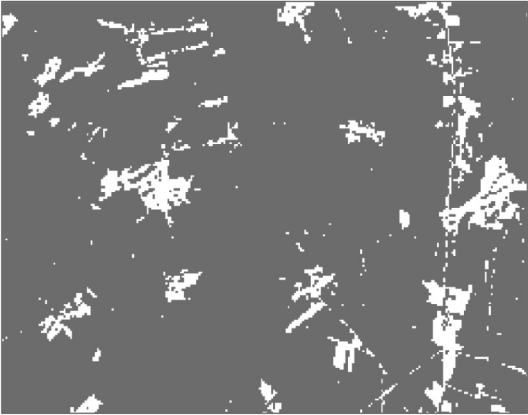


图 10 多光谱数数据分类细节图

Fig. 10 Classification details figure of multispectral data



图 11 MODIS 时间序列分类细节图

Fig. 11 Classification details figure of MODIS time series

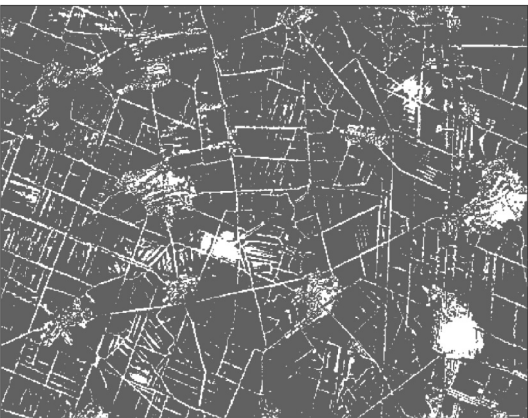


图 12 融合后分类细节图

Fig. 12 Classification details figure of after fusion

4 结 论

(1)从融合效果来看,HCS 方法适用于高

时间数据和高空间数据的融合,融合后的影像保持了原有的光谱特征及空间细节纹理。

(2)通过对 3 种数据分类后的结果进行精度评价和叠加分析目视评价,Landsat8 全色影像数据和 MODIS-NDVI 时间序列数据融合后的分类结果具有较高的分类准确性,玉米制图精度和用户精度分别达到 89.62%、99.71%。同时,在一定程度上也验证了物候数据在识别农作物方面是有帮助的。

(3)构建的高时空分辨率数据对农作物的识别效果在空间分布上要优于低分辨率的 MODIS 时间序列数据,更能体现不同地物的实际空间位置分布位置及地物的纹理脉络。也比单一中分辨率的 Landsat8 多光谱数据分类准确性提高许多。

参考文献

[1] 谢登峰,张锦水,潘耀忠,等. Landsat 8 和 MODIS 融合构建高时空分辨率数据识别秋粮作物[J]. 遥感学报,2015,19(5):791-805.
(XIE Dengfeng, ZHANG Jinshui, PAN Yaozhong, et al. Fusion of MODIS and Landsat 8 images to generate high spatial-temporal resolution data for mapping autumn crop distribution[J]. Journal of remote sensing and modis, 2015,19(5):791-805.)

[2] 李鑫川,徐新刚,王纪华,等. 基于时间序列环境卫星影像的作物分类识别[J]. 农业工程学报,2013,29(2):169-176.
(LI Xinchuan, XU Xingang, WANG Jihua, et al. Crop classification recognition based on time-series images from HJ satellite[J]. Transactions of the chinese society of agricultural engineering,2013,29(2):169-176.)

[3] 刘玉梅,刘芳,孙贯益. 基于 3S 技术的湿地生态系统动态监测[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(2):361-369.
(LIU Yumei, LIU Fang, SUN Guanyi. The dynamic monitoring of wetland ecosystem based on 3S technology [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016, 32 (2):361-369.)

[4] 郭明权,牛铮,王长耀. 利用遥感数据时空融合技术提取水稻种植面积[J]. 农业工程学报,2010(增刊2):48-52.

- (WU Mingquan, NIU Zheng, WANG Changyao. The spatial and temporal remote sensing data fusion technology to extract the rice planting area[J]. Journal of agricultural engineering, 2010(S2):48-52.)
- [5] ALCANTARA C, TOBIAS K, ALEXANDER V, et al. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data[J]. Remote sensing of environment, 2012, 124:334-347.
- [6] CUI Xinqiang, GUO Xuemei, TANG Jun, et al. Exploration and practice of customized agricultural meteorological service based on short message service[J]. Asian agricultural research, 2013, 5(8):123-126.
- [7] 卢柳叶, 李光录, 张莉, 等. 基于 TM 影像的半干旱区土地利用信息提取: 以山西省定襄县为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1):217-223.
(LU Liuye, LI Guanglu, ZHANG Li, et al. TM image-based land use information extraction in semi-arid region: A case study of dingxiang county of shanxi province[J]. Agricultural research in the arid areas, 2012, 30(1):217-223.)
- [8] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.
(SUN Jiabing. Principles and applications of remote sensing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2009.)
- [9] 陆忠军. 多源遥感数据在黑龙江水稻种植面积本底调查中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2009(6):134-136.
(LU Zhongjun. Application of multi-source remote sensing data in the background investigation of rice planting area in heilongjiang province[J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2009(6):134-136.)
- [10] YAO Fengmei, FENG Lili, ZHANG Jiahua. Corn area extraction by the integration of modis-evi time series data and china's environment satellite (hj-1) data[J]. Journal of the indian society of remote sensing, 2014, 42(4):859-867.
- [11] HILKER T, MICHAEL A, NICHOLAS C, et al. A new data fusion model for high spatial-and temporal-resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS[J]. Remote sensing of environment, 2009, 113(8):1613-1627.
- [12] KARILA N, KROOKS C. Monitoring changes in rice cultivated area from sar and optical satellite images in ben tre and tra vinh provinces in mekong delta, vietnam[J]. Remote sensing, 2014, 6(9):4090-4180.
- [13] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
(ZHAO Yingshi. Principles and methods of remote sensing application analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.)
- [14] 黄敬峰, 陈拉, 王晶, 等. 水稻种植面积遥感估算的不确定性研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6):166-176.
(HUANG Jingfeng, CHEN La, WANG Jing, et al. Uncertainty analysis of rice planting area extraction based on different classifiers using Landsat data[J]. Transactions of the chinese society of agricultural engineering, 2013, 29(6):166-176.)
- [15] 王力凡, 潘剑君. 基于 CBERS-02B 卫星影像光谱信息的水稻种植面积提取方法: 以南京市溧水县为例[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(1):87-91.
(WANG Lifan, PAN Jianjun. Extraction of rice planting area based on CBERS-02B image spectral information: a case study in Lishui, Nanjing[J]. Journal of Nanjing agricultural university, 2013, 36(1):87-91.)
- [16] 王松寒, 何隆华. 雷达遥感技术在水稻识别中的研究进展[J]. 遥感信息, 2015, 30(2):3-9.
(WANG Songhan, HE Longhua. Advances of rice recognition by sar[J]. Remote sensing information, 2015, 30(2):3-9.)
- [17] MONISHA C, SHREYA D. Determination of signal to noise ratio of electrocardiograms filtered by band pass and savitzky-golay filters[J]. Procedia technology, 2012(4):830-833.
- [18] 张伟科. 福田红树林自然保护区湿地生态系统动态监测模型[J]. 科技展望, 2015, 23:223-224.
(ZHANG Weike. Dynamic monitoring model of wetland ecosystem in the mangrove nature reserve of fukuda[J]. Science and technology, 2015, 23:223-224.)
- [19] 王焕萍. 中卫绿洲及毗邻地区湿地的遥感动态监测方法研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
(WANG Huanping. Study on remotely sensed monitoring of wetland at zhongwei oasis and its adjacent regions[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.)
- [20] ZHU W H, GUO Y L, SUN P, et al. Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream[J]. Acta ecologica sinica, 2012, 32(21):6609-6618.