

文章编号: 2095-2163(2022)02-0152-06

中图分类号: P407.8

文献标志码: A

# 道路信息提取的 GF-2 影像融合方法对比分析

邵小美<sup>1</sup>, 张春亢<sup>1</sup>, 韦永昱<sup>1</sup>, 周成宇<sup>2</sup>

(1 贵州大学 矿业学院, 贵阳 550025; 2. 31626 部队, 广州 510800)

**摘要:** 本文针对适用于 GF-2 卫星影像道路信息提取的影像融合方法,进行了对比与分析。通过对 GF-2 影像的全色及多光谱数据进行融合实验,比较分析了 6 种常用的影像融合方法。从主观定性评价和客观定量评价两方面进行分析,筛选出融合后影像质量较优的方法;然后选取较优融合方法进行道路信息提取,并对比了道路提取的精度,得出最适合 GF-2 影像的道路信息提取融合方法。结果表明,6 种融合方法中 NNDiffuse 变换和 GS 变换融合质量较好,基于 NNDiffuse 融合的影像的道路信息提取精度高于 GS 变换。因此,NNDiffuse 变换相比于其它 5 种融合方法更适用于 GF-2 卫星影像在道路信息提取中的应用。

**关键词:** 影像融合; 高分二号影像; 定性评价; 定量评价; 道路信息提取

## Comparison and analysis of GF-2 image fusion methods for road information extraction

SHAO Xiaomei<sup>1</sup>, ZHANG Chunkang<sup>1</sup>, WEI Yongyu<sup>1</sup>, ZHOU Chengyu<sup>2</sup>

(1. School of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2 TROOPS 31626, Guangzhou 510800, China)

**[Abstract]** In this paper, the image fusion methods for road information extraction from GF-2 satellite images are compared and analyzed. Through the fusion experiment of panchromatic and multispectral data of GF-2 image, six commonly used image fusion methods are compared and analyzed. The methods with better image quality after fusion are screened based on two aspects of subjective qualitative evaluation and objective quantitative evaluation. Then the optimal fusion method is selected for road information extraction by comparing the accuracy of road extraction, and the most suitable road information extraction fusion method for GF-2 image is obtained. The results show that NNDiffuse and GS transform have better fusion quality among the six fusion methods, and the extraction accuracy of road information based on NNDiffuse is higher than that of GS transform. Therefore, NNDiffuse is more suitable for the application of GF-2 satellite image in road information extraction compared with other five fusion methods.

**[Key words]** image fusion; Gaofen-2 image; qualitative evaluation; quantitative evaluation; road information extraction

## 0 引言

随着遥感技术的发展,影像融合技术已接近成熟并逐渐应用于各个研究领域<sup>[1]</sup>。国内外学者针对不同数据源采用不同融合方法做出了大量的研究,并依据相关的评价指标对融合效果进行评价<sup>[2]</sup>。研究表明,不同的融合方法应用于不同的数据源,其融合效果各异。薛晶等<sup>[3]</sup>针对高分二号影像,采用 5 种常用的融合方法对全色和多光谱数据进行分析处理,得到了最优融合算法。赵文驰等<sup>[4]</sup>通过分析评价不同融合方法,研究了适用于高分辨率卫星影像的融合方法;谢士琴等<sup>[5]</sup>比较分析了高分二号影像融合的方法,找到了 GF-2 影像融合的最优算法。以上文献都只是通过定性评价和定量评

价两方面评价了融合图像的优劣,且定量评价的指标中缺少对实际应用的考虑。而张丽霞等<sup>[6]</sup>通过对多种融合方法进行分类,总结了各类融合方法的融合过程和典型算法;孙攀等<sup>[7]</sup>基于高分二号影像,对比分析利用 5 种融合方法的融合影像进行地物分类,找到了最优融合方法;王兆媛等<sup>[8]</sup>针对适用于 GF-1 卫星影像水体信息提取的影像融合方法展开研究,筛选出融合后影像质量较优的方法;郑雅兰等<sup>[9]</sup>探究了适用于林业提取的高分二号影像的融合方法等等。从以上分析而可以看出,虽然图像的融合方法各有优劣,但卫星融合后影像的最佳视觉与应用效果还没有达成一致<sup>[10]</sup>。这些研究在利用不同融合方法分析高分影像方面取得了不少显著成果,但针对道路信息提取方面,尤其是适用于高分

**基金项目:** 国家自然科学基金(41701464); 贵州大学培育项目(贵大培育[2019]26号); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5788); 贵州省矿山动力灾害预警与控制技术科技创新人才团队项目(黔科合平台人才[2019]5619)。

**作者简介:** 邵小美(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向:高分遥感影像信息提取。

**通讯作者:** 张春亢 Email:chkang\_chd@163.com

收稿日期: 2021-10-08

二号卫星影像的分析,有待投入更多的研究与实际应用。

针对影像数据在实际应用中,由于融合方法选择不恰当导致数据优势无法充分发挥的问题,本文采用6种常用的融合算法对高分二号卫星的全色影像和多光谱影像数据进行融合实验,并通过主观定性评价和客观定量两方面进行对比分析,再通过遥感影像道路提取具体实验,选择适合从GF-2图像数据中提取道路信息的融合方法。

## 1 研究方法

### 1.1 影像融合方法

本研究选择了PCA、Brovey、NNDiffuse、GS、IHS以及小波变换6种常用的融合方法进行实验对比分析。

PCA变换也称Hotelling变换或K-L变换,是一种基于信息量的正交线性变换<sup>[11]</sup>。PCA融合法是用高分辨率图像替换,通过主成分变换,将低空间分辨率图像转换的第一个主成分,使得图像的光谱和纹理信息得到更好的保存,然后通过逆变换完成融合。Brovey融合方法即色彩标准化变换,该算法主要是将多光谱图像的图像空间分解为颜色和亮度分量,然后进行计算。该变换过程最大限度地保留了多光谱图像数据的信息,简化了图像变换过程的系数<sup>[12]</sup>。在融合处理操作中,首先对多光谱波段进行颜色归一化,然后将全色图像的灰度值乘以多光谱图像各波段的灰度值,最后完成融合过程。NNDiffuse(Nearest Neighbor Diffusion)融合算法是ENVI 5.2新增的一个图像融合算法,由美国罗彻斯特理工学院(Rochester Institute of Technology, RIT)最新提出。与以往的方法相比,该方法在图像融合质量和处理速度方面具有更好的效果。当多光谱波段的波长范围不交叉时,全色波段基本可以覆盖多光谱波段的所有波长范围,融合效果更好<sup>[13]</sup>。Gram-Schmidt变换是统计学中常用的一种多维线性正交变换,通过统计分析方法对融合波段进行最佳匹配,以消除多光谱波段之间的相关性<sup>[14]</sup>。该算法虽然消除了融合图像时的冗余信息,但其抗干扰能力较弱。IHS(Intensity, hue, saturation)变换主要是将人类感知的RGB颜色空间转换为IHS颜色空间,并通过对比拉伸将IHS转换为RGB模型,生成彩色增强图像,从而实现多源遥感影像间的信息融合<sup>[15]</sup>。小波变换是一种空间域信号分解与重构的融合技术<sup>[16]</sup>,该融合算法是通过对多光谱影像与高分辨率

影像进行小波正变换,然后对提取的高分辨率影像的高频信息和多光谱影像的低频信息进行小波逆变换。以此完成影像的融合。

### 1.2 融合质量评价方法

遥感影像融合主要是通过融合高空间分辨率影像和多光谱影像,得到兼具高空间分辨率和多光谱影像丰富的色彩信息的融合影像,提高影像整体质量。

#### 1.2.1 定性评价

融合影像主观定性评价标准是通过目视判别,由观察者主观评判图像的纹理、细节、边缘的清晰度,以及图像的光谱是否畸变,然后判断图像融合方法的实用性<sup>[17]</sup>。虽然主观评价方法方便快捷,但人工评价过程主观片面,只能在特定情况下使用。因此,对于大多数对准确度要求较高的应用,都需要进行客观的定量评价。

#### 1.2.2 定量评价

通过定量方式来对影像融合质量进行评价,相比定性方法来说更加严谨,在数据直观对比的基础上,可以清楚地分辨各种方法在融合后影像分辨率、光谱差异、亮度等各类指标上的差异<sup>[18]</sup>。本文针对高分二号卫星影像的特点,从影像的信息量、清晰度、边缘保持度、噪声减少情况,以及与原图像的相似程度等方面,对图像的评价指标进行了选择。最终选取了图像均值、标准差、信息熵、峰值信噪比、均方根误差以及与原多光谱影像的相关系数6个评价指标。通过对这6个指标的综合对比分析来判定影像的融合效果的优劣。

(1)均值:均值也称为像素平均值,表现为影像的平均亮度<sup>[19]</sup>。融合后,影像与原始影像的均值变化越小,则该方法的融合效果就越好。其计算公式为:

$$\bar{F} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(i, j) \quad (1)$$

式中, $\bar{F}$ 为影像的灰度平均值, $F(i, j)$ 为影像中第*i*行*j*列像元的灰度值。

(2)标准差:标准差是相对于灰度平均值来说的图像灰度离散情况<sup>[19]</sup>。标准差越小,影像中地物间的反差就越小,更不利于提取影像的信息。计算公式为:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (F(i, j) - \bar{F})^2} \quad (2)$$

式中, $SD$ 为影像的标准差。

(3)信息熵:信息熵常被用作系统信息含量的量化指标。通常情况下,融合后图像的熵值越大,则图像包含的信息量就越多,融合效果也就越好<sup>[20]</sup>。计算公式为:

$$H = - \sum_i P(x_i) \log_b P(x_i) \quad (3)$$

式中,  $H$  为信息熵,  $P(x_i)$  为影像像素灰度值为  $x_i$  的概率。

(4)均方根误差:均方根误差是融合影像与原始影像相似度的直接反映,代表融合影像的信息保留程度<sup>[21]</sup>。融合影像均方根误差越小,表示融合前后影像越相似,融合效果越好。其计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [F_1(i,j) - F_2(i,j)]^2}{m \times n}} \quad (4)$$

式中,  $F_1(i,j)$  为原始影像在  $(i,j)$  位置像元的灰度值,  $F_2(i,j)$  为融合后影像在  $(i,j)$  位置像元的灰度值。

(5)相关系数:融合后影像的光谱信息保存能力,可以通过融合后影像与原始多光谱影像之间的相关系数来衡量<sup>[22]</sup>。通常情况下,影像的相关系数越大,则融合后影像的光谱信息保存能力就越强。融合图像和原始图像的相关系数  $\rho$  的计算公式为:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [F_1(i,j) - \bar{F}_1] \times [F_2(i,j) - \bar{F}_2]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [F_1(i,j) - \bar{F}_1]^2 \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [F_2(i,j) - \bar{F}_2]^2}} \quad (5)$$

(6)峰值信噪比:峰值信噪比是衡量图像有效信息与噪声之间的比例,能够体现图像是否失真<sup>[23]</sup>。其数值越大,表示融合过程的失真越小,融合效果更好。其计算公式为:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{\text{MAX}_{F(i,j)}}{RMSE^2} \quad (6)$$

式中,  $\text{MAX}_{F(i,j)}$  为融合图像最大灰度值。

### 1.3 道路信息提取方法

本实验采用改进的笔画宽度变换算法<sup>[24]</sup>,对6种融合后的影像以及原始图像进行道路信息提取实验。该方法是利用均值漂移(mean shift)算法来改进笔画宽度变换进行道路提取,使最终获得的道路信息更加准确;最后对提取出的道路图像进行数学形态学处理,去除其中一些干扰及毛刺,优化道路提取实验结果。

## 2 实验结果分析

本文实验的研究区位于贵阳市贵阳北站附近。该区域地势相对平坦,交通线比较复杂,是运用遥感技术进行道路信息提取的有利地域。选取高分二号卫星影像数据的多光谱和全色影像作为实验数据。在融合实验之前,首先对影像数据进行正射校正和空间配准等预处理,然后再进行融合实验。经过图像融合后的影像,能更好地识别道路信息,加强视觉效果,有利于全面提取道路信息。文中影像选用MSS3(R)、MSS2(G)、MSS1(B)的波段组合。不同类型道路的融合效果如图1和图2所示。

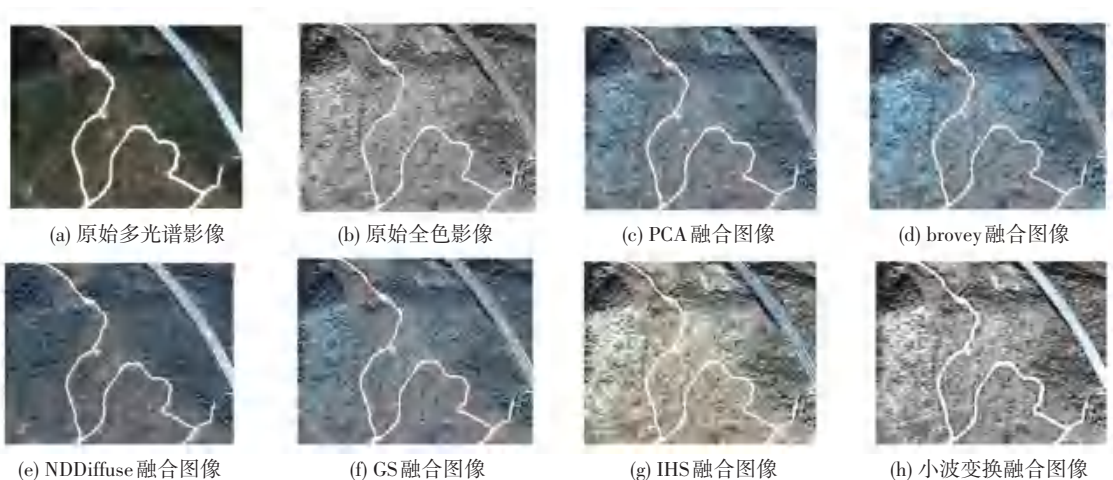


图1 郊区道路融合图像

Fig. 1 Fused image of suburban road



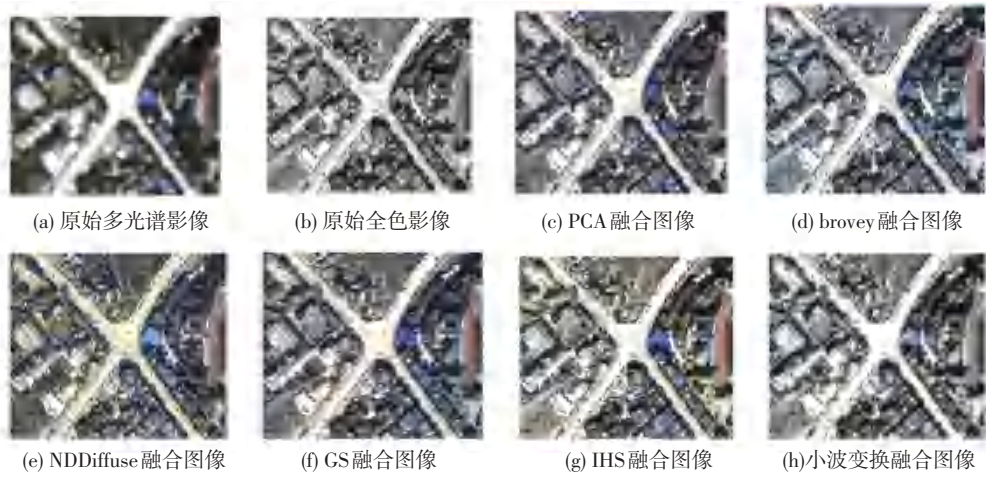


图 2 城市道路融合图像

Fig. 2 Fused image of urban road

2.1 定性评价

融合影像主观定性评价,主要是通过人眼进行主观判别图像光谱保真度和图像清晰度的融合效果。由图 1、图 2 可见,相比于原始多光谱影像,6 种方法的融合影像在信息方面都有所增强。但在细节信息方面,融合后的影像相比全色影像都有一定的损失。IHS、brovey 和小波变换融合的图像在光谱颜色方面存在光谱失真的现象,而且相比与其它融合图像,小波变换融合图像比较模糊,但整体的影像质量并没有受损。而 PCA、NNDiffuse 和 GS 融合后的

影像比较清晰,光谱保真度和颜色亮度优于前 3 种融合方法。其中视觉效果最好的是 NNDiffuse,与原始多光谱影像在颜色上最为相似。

2.2 定量评价

本文选择均值、标准差、信息熵、峰值信噪比、均方根误差以及与原始多光谱影像的相关系数,作为融合影像质量评价的指标,从信息量、光谱保真度、清晰度等方面对融合结果进行定量分析。分别计算原始多光谱和 6 种融合影像的质量评价指标值,具体变化趋势如图 3 所示。

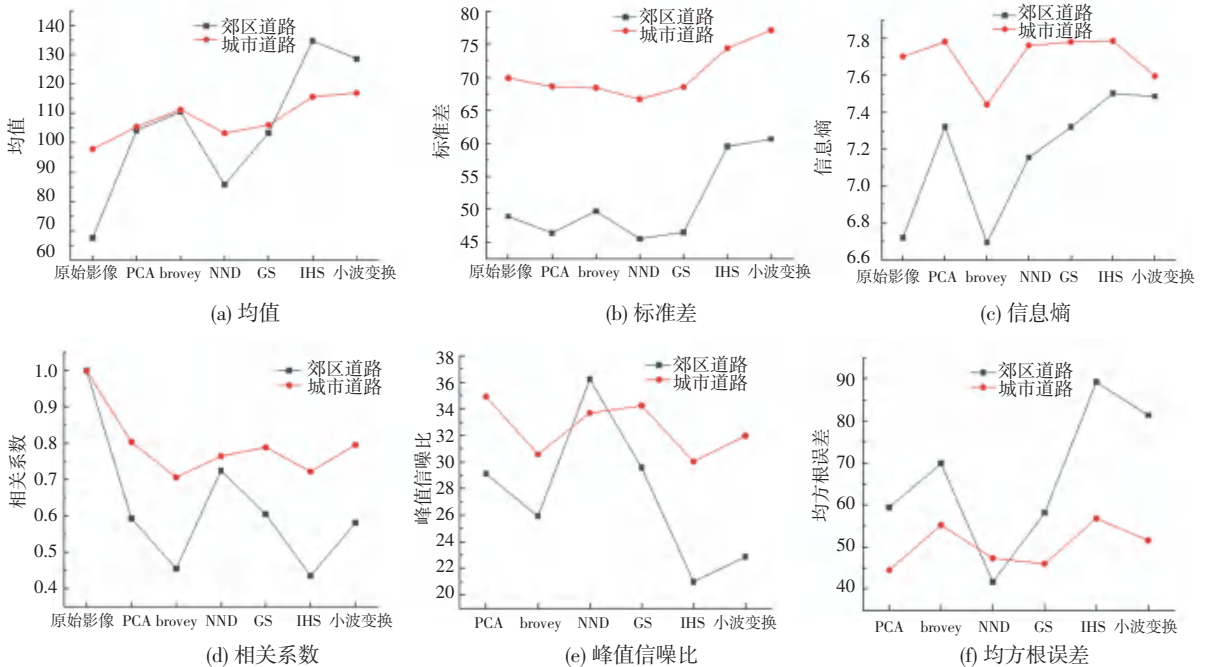


图 3 评价指标变化折线图

Fig. 3 Line chart of evaluation index changes

由图3中各评价指标对比可知:

(1)从均值方面分析,NNDiffuse 融合法的光谱保真性最好,GS 和 PCA 融合法次之,这3种方法最接近原始影像并有所提升。而 IHS、Brovey 和小波变换融合图像和原始影像的均值相差较大。

(2)从标准差方面分析,IHS 和小波变换的标准差最大,且较原始多光谱影像相差较大。标准差越大表示图像反映的信息越复杂,虽然这有利于地物的分类,但对道路信息提取来说,会造成更多的噪声。而 PCA、GS、Brovey 和 NNDiffuse 法融合后,影像的标准差和原始影像都比较接近原始影像,更有利于道路信息的提取。

(3)从信息熵方面分析,无论是城市道路还是郊区道路的图像,NNDiffuse、GS 和 PCA 融合后的图像信息量都比较大,而 Brovey 的熵值最小。

(4)从相关系数方面分析,NNDiffuse、GS、PCA 和小波变换融合图像的相关系数较大,表明这3种方法与原始多光谱影像相似度较高。而 IHS 和 Brovey 融合图像与原始多光谱图像的相关性较小,融合效果较差。

(5)从峰值信噪比方面分析,GS、PCA 和 NNDiffuse 融合图像峰值信噪比较大,而 Brovey、IHS 和小波变换的图像峰值信噪比较小,其图像失真较大。

(6)从均方根误差方面分析,GS、PCA 和 NNDiffuse 融合图像均方根误差较小,表示这3种融合影像与原始影像越接近,融合效果较好。而 Brovey、IHS 和小波变换的融合方法的均方根误差较大。

综上所述,NNDiffuse 融合法和 GS 融合法的融合效果较好,PCA 融合法次之,而 Brovey、IHS 和小波变换融合法效果较差。为了从应用的角度更好地评价融合方法的优劣,也为了验证融合影像在道路信息提取中的适用性。将分别用 NNDiffuse 和 GS 融合图像进行道路信息提取,以此对融合效果进行验证。

### 2.3 道路信息提取结果与分析

本文将融合图像应用于道路信息提取中,利用改进的笔画宽度变换算法,分别对 NNDiffuse 和 GS 变换所得融合影像进行道路信息提取,结果如图4、图5所示。

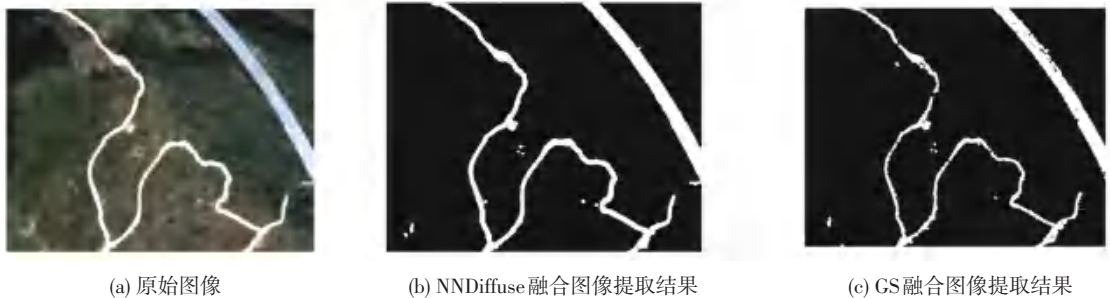


图4 郊区道路提取结果

Fig. 4 Suburban road extraction results

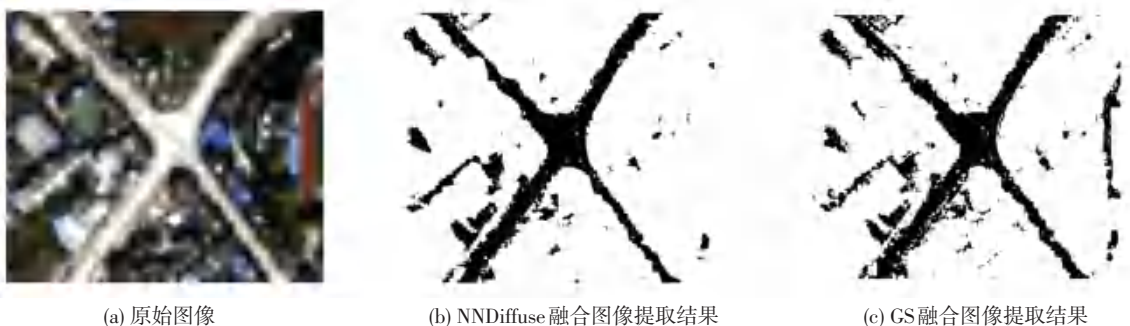


图5 城市道路提取结果

Fig. 5 Urban road extraction results

从图4和图5可以看出,对于郊区道路,影像中没有过多的干扰噪声,提取效果都比较好。但 GS 融合图像的提取结果会出现一些断裂以及毛刺。而

对于城市道路来说,建筑物比较多,提取出的结果会存在较多的噪声,这需要后续的去噪实验。相比之下,NNDiffuse 融合方法对边界的处理更细致,道路

提取结果更加完整。

### 3 结束语

本文以高分二号卫星影像的全色与多光谱影像作为数据源,对6种典型的融合方法进行对比与分析,综合定性与定量进行融合效果评价。从信息量,光谱保真度、清晰度等方面的指标综合分析得出:NNDiffuse变换和GS变换融合效果较好;结合具体的道路提取实验进行验证,实验结果表明:相比于其它5种融合方法,NNDiffuse融合图像的道路提取效果更优,更适合高分二号影像的道路信息提取研究。

### 参考文献

- [1] 闫晗晗,邢波涛,任璐,等. 遥感数据融合技术文献综述[J]. 电子测量技术,2018,41(9):26-36.
- [2] KAUR H, KOUNDAL D, KADYAN V. Image Fusion Techniques: A Survey[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2021(45):1-23.
- [3] 薛晶,官云兰,李宜龙,等. “高分二号”卫星影像融合方法对比和评价[J]. 航天返回与遥感,2017,38(2):91-99.
- [4] 赵天驰,宋伟东,陈敏. 国产高分辨率遥感卫星融合方法比较[J]. 测绘与空间地理信息,2019,42(11):154-158,163.
- [5] 谢士琴,赵天忠,王威,等. 高分二号卫星影像融合方法比较研究[J]. 系统仿真学报,2017,29(11):2742-2746.
- [6] 张丽霞,曾广平,宣兆成. 多源图像融合方法的研究综述[J/OL]. 计算机工程与科学;1-14[2021-09-29].
- [7] 孙攀,董玉森,陈伟涛,等. 高分二号卫星影像融合及质量评价[J]. 国土资源遥感,2016,28(4):108-113.
- [8] 王兆媛,王之玉,王艳松. 高分一号影像融合及在水体信息提取中的应用[J]. 地理空间信息,2020,18(4):22-26,6.
- [9] 郑雅兰,王雷光,陆翔. 高分二号全色-多光谱影像融合方法对比研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2018,38(2):103-110.
- [10] HA W, GOWDA P H, HOWELL T A. A Review of Potential Image

Fusion Methods for Remote Sensing-based Irrigation Management: Part II[J]. Irrigation Science, 2013, 31(4): 851-869.

- [11] 纪峰,李泽仁,常霞,等. 基于PCA和NSCT变换的遥感图像融合方法[J]. 图学学报,2017,38(2):247-252.
- [12] D Amarsaikhan, M Saandar, M Ganzorig, et al. Comparison of multisource image fusion methods and land cover classification[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(8): 2532-2550.
- [13] 陈业培,孙开敏,白婷,等. 高分二号影像融合方法质量评价[J]. 测绘科学,2017,42(11):35-40.
- [14] 秦善善,王世新,周艺,等. NSCT与GS变换的资源三号卫星数据融合方法研究与应用[J]. 地球信息科学,2014,16(6):949-957.
- [15] 孙越,黄国满,赵争,等. 不同滤波方法的SAR与多光谱图像融合算法[J]. 遥感信息,2019,34(4):114-120.
- [16] 薛岚燕,程丽. 基于融合技术的小波变换和数学形态学的边缘检测算法[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2013,47(1):27-30.
- [17] KARATHANASSI V, KOLOKOUSIS P, IOANNIDOU S. A comparison study on fusion methods using evaluation indicators[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(10): 2309-2341.
- [18] 肖昶,余晓敏,韩逸飞. 高分二号卫星影像融合技术研究[J]. 地理空间信息,2018,16(6):13-16,7.
- [19] 黄鹤,冯毅,张萌,等. 天绘一号卫星影像的融合及评价研究[J]. 测绘通报,2013(1):6-9.
- [20] 裴春阳,樊宽刚,马政. 基于边缘保留分解和改进稀疏表示的医学图像融合[J]. 计算机应用,2021,41(7):2092-2099.
- [21] 陈思吉,王晓红,李运川. 改进Laplace的无人机图像边缘检测算法研究[J]. 测绘工程,2021,30(2):36-44.
- [22] SINGH S, MITTAL N, SINGH H. Review of Various Image Fusion Algorithms and Image Fusion Performance Metric[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2021;1-15.
- [23] 石雪松,李宪华,孙青,等. 基于人工蜂群与模糊C均值的自适应小波变换的噪声图像分割[J]. 计算机应用,2021,41(8):2312-2317.
- [24] 张霞,张春亢,李红梅,等. 结合笔画宽度变换与均值漂移的遥感影像道路提取[J]. 测绘科学技术学报,2019,36(3):287-292.

(上接第151页)

址点来说最优的选址点。但是本文对不同影响因素的权重值的确定存在一定的主观性,并不能实时反映真实的状况,比如:天气因素对运输的影响,有待进行更深入挖掘。在未来研究中,期望找到更为客观的评价因素指标表示现实状况,减少主观评定所带来的不确定影响。

### 参考文献

- [1] 徐兰,唐倩. 基于GERT网络的冷链物流质量管控关键环节识

别与分析[J/OL]. 工业工程与管理;1-15[2021-07-26].

- [2] 邹筱,张晓宁. 准时达限制条件的冷链物流配送中心选址模型[J]. 统计与决策,2020,36(12):185-188.
- [3] 沈俊宇. 区域冷链物流配送中心选址及配送路径优化研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
- [4] 王诺,王翊萱,田玺环,等. 远海岛礁冷链物流体系优化模型及其集成算法[J]. 中国管理科学,2019,27(10):100-109.
- [5] ORJUELA-CASTROA J A. Coupling facility location models in the supply chain of perishable fruits[J]. Research in Transportation Business&Management 2017, (24):73-80.