

基于区域统计特性的 IHS - 小波遥感影像融合

张一平, 龚志辉, 王 勃, 孟伟灿

(信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)

摘要:在遥感影像融合过程中,为了更好地避免经典 IHS 算法造成的光谱扭曲,文章提出了一种基于统计特性的 IHS 和提升小波结合的影像融合方法。该方法对小波变换后的 I 分量和高分辨率影像的高频和低频系数,根据不同的区域统计特性分别选取不同的融合策略进行融合,然后进行小波逆变换和色彩空间转化,得到融合影像。实验表明,此方法与 IHS 变换、高通滤波法和小波变换等传统算法相比,在提高多光谱影像空间分辨率的同时,能更好地保持影像的光谱质量。

关键词:影像融合; IHS 变换; 提升小波变换; 统计特性

中图分类号: TP75 文献标识码: B 文章编号: 1672 - 5867(2012)02 - 0166 - 03

Remote Sensing Image Fusion Based on Regional Statistical IHS - Wavelets

ZHANG Yi - ping, GONG Zhi - hui, WANG Bo, MENG Wei - can

(Institute of Surveying and Mapping Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: In the process of remote sensing image fusion, we put forward an image fusion algorithm based on statistical character IHS transform and enhancing wavelet transform to avoid spectrum deformation caused by conventional IHS transform. The above IHS method chooses different strategy to fuse I components after wavelet transform and high frequency coefficient and low frequency coefficient of high resolution image according to different region statistical character and makes inverse wavelet transform and color space transform to obtain fusion image. Our experiments show that the IHS method can keep a better spectrum quality and higher spatial resolution of multi-spectral than traditional algorithm such as IHS transform high-pass filtering method and wavelet transform.

Key words: image fusion; IHS transform; enhancing wavelet transform; statistical character

0 引言

全色影像具有较高的空间分辨率但缺乏光谱信息,多光谱影像虽然光谱信息丰富但其空间分辨率低。如何有效地融合多光谱遥感影像和高分辨率的全色影像,得到一幅较高空间分辨率和光谱分辨率的融合影像,来互补多源信息、减少模糊度、改善影像解译精度、提高影像的可靠性和使用率,一直是遥感影像融合技术中的研究热点。

Haydn 等人首先提出了经典的 IHS 融合算法^[1],因为其融合后能保留绝大部分高空间分辨率影像的信息,使其空间分辨率十分接近高空间分辨率影像^[2],而得到了广泛的应用。然而,由于不同波段数据具有不同的光谱特征曲线, IHS 算法在融合过程中扭曲了原始的光谱特性,产生了不同程度的光谱退化现象或色彩畸变,不利于融合后影像的正确识别和分类。基于此,宋丽玲等提出了一种采用分辨率退化模型的改进 IHS 变换的融合方

法^[3],有效地减少了融合过程中的光谱扭曲。近年来,由于小波变换等各种多分辨率分析工具在图像融合时能有效克服光谱失真问题,已成为多源遥感影像融合后获得高质量影像的有效途径^[4-7]。本文将提升小波变换和 IHS 变换相结合,在提高空间分辨率的同时,尽量减少融合影像的光谱扭曲,对于小波变换后的高低频系数,根据融合影像的区域统计特性,分别选取不同的融合策略进行融合,实验结果和分析表明,与传统的 IHS 变换、HPF 方法和小波方法相比,本文方法得到的融合影像在提高分辨率的同时,能更好地保留原始多光谱影像的光谱信息。

1 融合的原理与方法

1.1 IHS 变换

IHS 系统采用色调(Hue)、饱和度(Saturation)、强度(Intensity)表示颜色。强度是指颜色的光亮程度,RGB 空

收稿日期:2011 - 05 - 10

作者简介:张一平(1987 -),男,湖南常德人,摄影测量与遥感专业硕士研究生,主要研究方向为数字摄影测量与遥感图像处理。

间和 IHS 空间相互转化的处理过程称之为 IHS 变换和反变换。在所有的彩色变换技术中, IHS 变换最符合人的视觉效果^[8]。并且 IHS 变换后, 强度分量和色调、饱和度的相关性很低, 非常便于影像的融合处理。IHS 变换有多种变换形式, 例如球体变换、圆柱体变换、三角形变换等, 对于影像融合而言, 几种模型的差异不明显, 本文采用常用的三角形变换公式进行多光谱影像的 IHS 变换。

正变换:

$$\begin{cases} I = \frac{1}{3}(R + G + B) \\ H = \frac{G_0 - B_0}{3(I - B_0)} S = 1 - \frac{B_0}{I} \quad B_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \\ H = \frac{G_0 - R_0}{3(I - R_0)} S = 1 - \frac{R_0}{I} \quad R_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \\ H = \frac{R_0 - G_0}{3(I - G_0)} S = 1 - \frac{G_0}{I} \quad G_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \end{cases} \quad (1)$$

逆变换:

$$\begin{cases} B_{new} = I(1 - S) \\ G_{new} = 3 \cdot H(I - B_{new}) + B_{new} \quad B_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \\ R_{new} = 3I - G_{new} - B_{new} \\ R_{new} = I(1 - S) \\ B_{new} = 3 \cdot H(I - R_{new}) + R_{new} \quad B_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \\ G_{new} = 3I - R_{new} - B_{new} \\ G_{new} = I(1 - S) \\ R_{new} = 3 \cdot H(I - G_{new}) + G_{new} \quad B_0 = \min(R_0, G_0, B_0) \\ B_{new} = 3I - R_{new} - G_{new} \end{cases} \quad (2)$$

1.2 提升小波变换

提升小波变换方法是 Sweldens 等学者于 20 世纪 90 年代中期提出的一种不依赖于傅立叶变换的小波构造方法^[9]。Daubechies 和 Sweldens 已经证明^[10], 任意具有有限长滤波器的离散小波变换都可以通过对它的多相矩阵进行因式分解化为有限的提升步骤来解决。与传统的小波变换相比, 提升的小波变换方法运算速度大有提高, 其运算只需在时域中进行, 大大节省了内存, 另外, 提升小波变换可以实现整数小波变换, 计算过程不产生任何浮点误差, 能精确地重构原始信号, 非常有利于影像的各种处理。如图 1 所示, 经过一层的提升小波分解后, 原始影

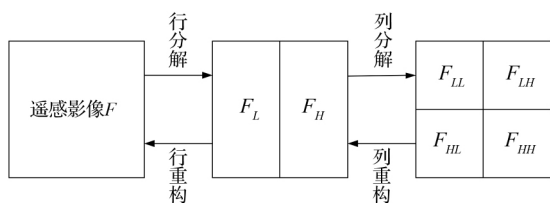


图 1 影像提升小波分解重构示意图

Fig. 1 Diagram of wavelet resolution and reconstruction for image improvement

像 F 分解为一个低频近似分量 F_{LL} 和水平、垂直和对角线三个高频分量 F_{HL}, F_{LH}, F_{HH} 。分解过程中还可以根据需要对得到的 LL 分量进行进一步的小波分解^[11], 直至达到要求。

1.3 提升小波与 IHS 结合的融合方法

本文采用提升小波与 IHS 变换结合的方法进行遥感影像的融合, 其实现的具体步骤如下:

1) 将多光谱影像从 RGB 空间转换到 IHS 空间。

2) 将高空间分辨率全色影像与多光谱影像变换的 I 分量进行直方图匹配, 然后对匹配后的全色影像和 I 分量分别进行提升小波变换, 得到影像的一个近似低频分量和不同方向上的高频分量。

3) 融合规则的选取

① 低频系数的融合

影像的低频成份包括了影像的主要能量, 决定了影像的轮廓, 因此正确选择低频子带系数能够很好地提高影像的视觉效果。为了更好地将高分辨率图像的一些特征融合到低分辨率的多光谱影像中, 本文采用基于区域能量的权值选取法则, 根据像素区域能量的大小, 自动确定权值。设全色影像和多光谱影像 I 分量变换后的低频部分分别为 I_A 和 I_B , 则融合后的低频分量 I_{LL} 为:

$$I_{LL}(x, y) = w_A I_A(x, y) + w_B I_B(x, y) \quad (3)$$

其中: w_A 和 w_B 分别表示相应像素对应的权值系数:

$$\begin{cases} w_A = E_A(x, y) / (E_A(x, y) + E_B(x, y)) \\ w_B = E_B(x, y) / (E_A(x, y) + E_B(x, y)) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $E_A(j, k)$ 和 $E_B(j, k)$ 为相对应的低频子带的区域窗口能量。本文选取的是以带融合像素为中心的 3×3 窗口的区域能量。

② 高频系数的融合

高频系数融合目的是尽可能提取源影像中的细节信息。在源影像中, 明显的影像特征, 譬如直线、曲线、边缘等, 往往表现为灰度值及其变化, 在多尺度变换域中往往表现为具有较大模值的高频子带变换系数。因此, 对高频系数常采用“模值取大”的融合规则, 但生理学的研究表明, 人眼对影像局部的对比度很敏感而对单个点亮度并不是很敏感, 所以本文在高频融合时, 为了更好地突出影像局部的对比度, 充分考虑中心像素与周围像素的相关性, 采用高频系数与其邻域系数的 8 个方向的梯度变化总和作为像素选取的阈值, 设融合后影像的 3 个方向的高频系数为 $I_{j,k}$, 则有:

$$I_{j,k}(x, y) = \begin{cases} I_{j,k}^A(x, y) & \text{if } T(x, y) \geq T(x, y) \\ I_{j,k}^B(x, y) & \text{if } T(x, y) < T(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

式中 $T(x, y)$ 定义为:

$$T(x, y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 |I_{i,j}(x, y) - I_{i,j}(x + m, y + n)| \quad (6)$$

4) 对由式 (3) 得到的新的融合影像的小波系数 I_{LL}, I_{HL}, I_{LH} 和 I_{HH} 进行提升小波逆变换, 得到融合影像的强度分量 I_{new} 。然后将新的 I_{new} 分量与 H, S 分量变换到 RGB

空间,最后得到高分辨率多光谱影像(如图2所示)。

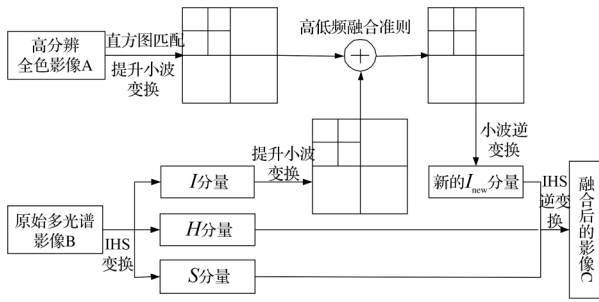


图2 融合算法流程图

Fig. 2 Flowchart of fusion algorithm

2 实验结果及分析

为验证本文方法的可行性和有效性,采用某一地区经过严格配准后的 SPOT 高分辨率全色影像(10 m 分辨率)和 TM 3 个波段合成的多光谱影像(30 m 分辨率)来进行融合实验,并与其他几种常用的方法进行比较,如图3所示,从目视效果来看,IHS方法和本文方法更好地提高了融合影像的空间分辨率,影像边缘更加清晰,而本文方法与IHS方法相比,在提高分辨率的同时,较好地保留了多光谱图像的光谱信息,而IHS方法则产生了一定的光谱扭曲。

为了更好地对融合后的影像进行评价比较,本文选用了信息熵、平均梯度等5个指标对融合影像进行了定量评价(见表1)。

1) 信息熵

反映了一幅影像所含信息的丰富程度,熵值越高,说明影像所含信息越丰富。

2) 标准差

反映了影像灰度相对于灰度平均值的离散情况,可以用来评价影像反差的大小。标准差大,则影像灰度级分布分散,可以看出更多的信息。

3) 平均梯度

反映了影像中微小细节反差和纹理变换特征,用来衡量影像的清晰度。

4) 相关系数

反映了融合影像相对于原多光谱影像的光谱保持程度,相关系数越高表明融合影像的光谱保持性越好。

5) 偏差

反映了融合影像相对于原多光谱影像的光谱偏离程度,偏差越小,说明光谱偏离度越低。

从表1可以看出,基于IHS方法的融合影像,平均梯度和标准差较高,说明IHS方法对于提高空间分辨率和清晰度效果好,但是其相关系数较小,偏差指数最大,说明其在融合过程中光谱扭曲最大;而小波变换的方法则是能较好地保持多光谱影像光谱信息,但其融合影像的空间分辨率和清晰度提高有限。而用本文方法进行融合后的影像则很好地结合了上述两种方法的优点,在提高空间分辨率的同时,能更好地保留原始多光谱影像的光谱信息,并且信息熵最大,所含信息最为丰富,更有利于融合影像的分类、地物识别等后续处理。

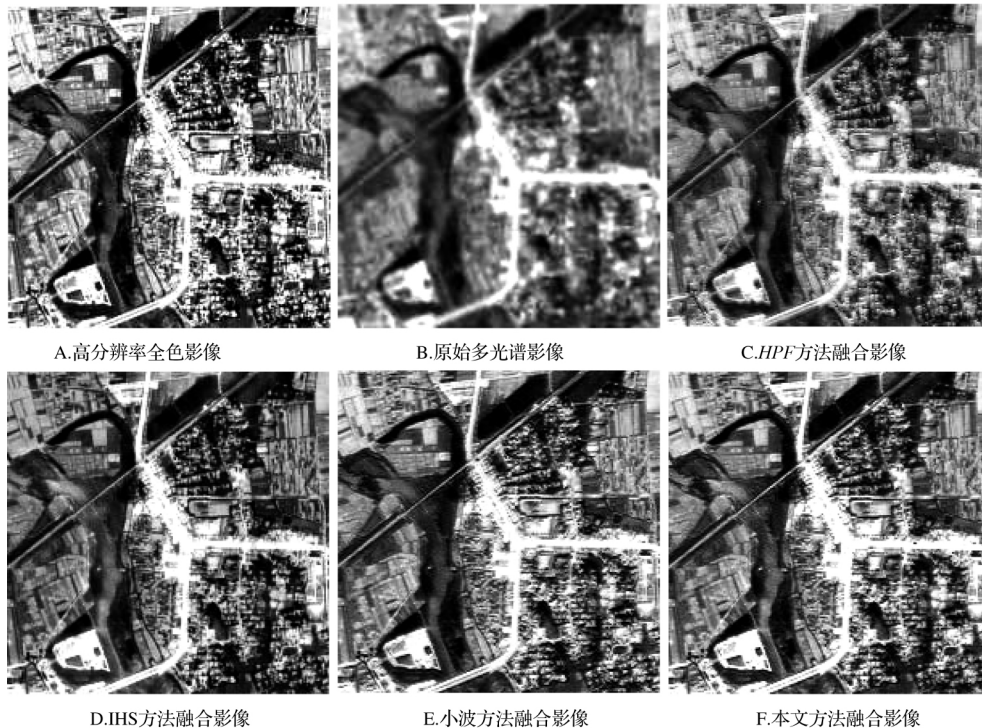


图3 融合实验结果

Fig. 3 Result of fusion experiment

(下转第171页)

与 GIS 二者均以制图为基础,二者各有优点,而二者经常在工作中有交叉,因此,与空间数据紧密相关的国土、水利、电力、房产、规划、地质等部门的管理信息系统,对 CAD 与 GIS 的互操作性和集成应用产生了越来越强烈的需求。

对于大多数 GIS 应用,转换后的 GIS 数据只有很少部分被用于查询和分析,绝大部分数据只需满足浏览显示和出图即可,表现的还是 CAD 图形的特征。针对这种情况,可将 CAD 数据分为两类:一类是用于查询分析的数据(如地形图上的地名、道路、房屋要素),需转换为 GIS 数据,这部分数据占的比重比较小;其余数据(如地形图上的控制点、交通附属设施、居民地附属设施、市政管线要素、地貌要素、水域、植被、图框等),它们仍按 CAD 格式管理,按 CAD 的图式规范在 GIS 环境中读取显示。将这两类数据通过不同途径融合于 GIS 应用环境,一方面满足了应用的需要;另一方面又有效降低了数据转换量,使数据转换的成本得以降低,并且大部分数据不需再重复更新,数据的一致性容易得到保证。图 2 是以地形图为例的 CAD 数据与 GIS 数据转换和融合的流程图。

2 结束语

数字城市的建设涉及大量的地理空间数据,不同来源不同格式的数据融合和成功应用是实现长沙市各级部门间的地理空间数据共享,消除信息孤岛,减少信息化重复建设和重复投入,加快城市信息化进程的关键。随着计算机技术的发展,图像图形学理论和数学方法的不断出现并日趋成熟,数据融合技术也将越来越完善,多源空间数据的融合问题也将会得到解决。

参考文献:

[1] 卢新海. 多源城市规划数据的融合与集成方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2005, 28(4): 47-49.
 [2] 孙福贵, 冯树辉. 基于 1:10 000 DEM 的 SPOT 5 遥感影像正射纠正[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 830-833.

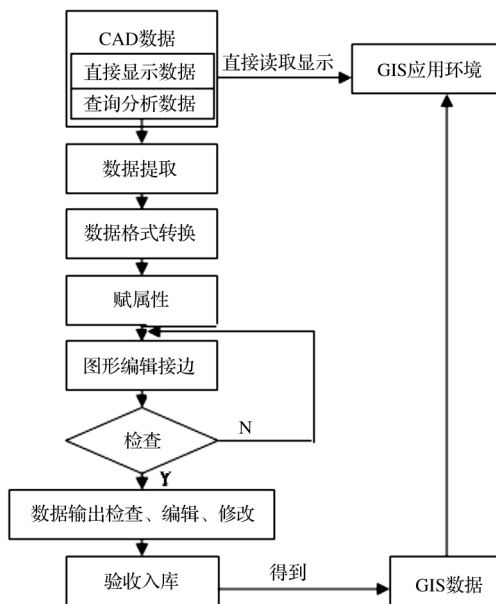


图 2 CAD 与 GIS 数据转换融合流程
 Fig. 2 Flowchart of the fusion and conversion of CAD and GIS data

[3] 郭黎, 崔铁军, 王玉海, 等. 多源空间数据融合技术探讨[J]. 地理信息世界, 2007, 5(1): 62-66.
 [4] 张海玲, 王家林, 许惠平, 等. 遥感数据和多源地学数据的融合研究[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(2): 95-98.
 [5] 贾永红, 李德仁, 孙家柄. 多源遥感影像融合[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(1): 41-44.
 [6] 杨玉静. 遥感影像融合关键技术探讨[J]. 北京测绘, 2010(2): 75-77.
 [7] 高翔, 王勇. 数据融合技术综述[J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(11): 706-709.

[编辑: 宋丽茹]

(上接第 168 页)

表 1 不同融合结果质量评价参数比较

Tab. 1 Parameter comparison between different fusion result qualities

融合方法	均值	标准差	信息熵	平均梯度	相关系数	偏差
原始多光谱影像	119.044 28	54.965 423	7.747 548	5.621 662		
HPF 方法	125.254 9	63.337 262	7.896 779	14.966 637	0.928 191	0.225 996
IHS 方法	111.637 34	71.537 85	7.7470 07	18.803 846	0.864 184	0.363 305
小波方法	119.024 04	56.897 414	7.789 999	15.571 542	0.921 068	0.224 346
本文方法	123.768 87	65.650 371	7.906 252	19.060 546	0.900 407	0.272 251

3 结束语

针对全色影像和多光谱影像的融合, 本文将提升小

波变换和 IHS 变换方法相结合, 对变换后的低频系数, 采用区域能量加权的方法, 在保留多光谱自身光谱特性的 (下转第 175 页)

4) 在选择的过程中,软件会自动计算左侧的地形点数目和重复情况,然后选择右面的点。依次选择,完成

横断面数据的提取,结果即为设计需要的纬地格式数据。

```
ZK41+090
    9  6.2  0.1  1.8  1.5 10.2  0.3  3.6  2  6.5  1.8  7.1  0.8  1.9  2.1  9.9  1.3  3.5  0.3
   10 12  -6   3.2 -0.3  2.5 -1.9  3.7 -0.2  6  -4  6.8 -0.8  3.5 -0.1  4.4 -0.4  3.4 -2.9  6.6 -0.1
```

图 7 数据成果

Fig. 7 Data result

4.2 程序功能特点

在程序的编写过程中,由于注意到内业测量的习惯问题,该程序具有一定程度的纠错性,其主要可以做到以下几点:

1) 数据的间断性操作

数据输出的文件可以选择原有文件,也可以定义新的文件。

2) 数据选择重复操作

对于重复选择的数据,程序自动统计并只记录其中的一个,避免数据不必要的错误。

3) 数据的有序性

在操作的过程中,横断面信息点的选取可以是随意的,软件会自动按位置排序,具有一定的人性化设计。

5 结束语

RTK 技术较常规测量有明显优势,不仅能达到较高

的定位精度,而且可以使测量一步到位,真正实现无纸化作业。通过强大的数据处理程序,减少不必要的内外业工作量,降低人员成本,极大地提高了工作效率,在工程勘测设计中必将会得到广泛的应用。

参考文献:

- [1] 李仕东. GPS-RTK 技术在高等级公路横断面测量中的应用[J]. 测绘工程, 2005, 14(1): 23-26.
- [2] 黄静新, 詹秀红, 王棋, 等. 山西邢汾高速(榆社一和顺康佳楼)定测工作的几点思考[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(1): 84-86.
- [3] 中交第一公路勘察设计研究院. JTG C10-2007 公路勘测规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [4] 王棋. 关于道路横断面测量和数据处理[J]. 山西建筑, 2011, 37(3): 204-205.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 171 页)

同时,有效地融入了高分辨率全色影像的特性;而对于高频系数,为了更好地突出融合后影像的对比度和边缘细节,弃用传统的模值取大的准则,采用中心像素与其周围 8 个方向的梯度变化作为判断阈值。实验结果表明,该方法在最大限度地提融合影像的空间分辨率的同时,能更好地保留原多光谱影像光谱信息。与 IHS 方法、小波变换法及其传统的代数方法相比,本文方法获得的融合影像色彩自然,边缘清晰,综合融合效果最好。

参考文献:

- [1] 敬忠良, 肖刚, 李振华. 图像融合——理论与应用[M]. 北京: 高等教育出版, 2007.
- [2] 徐清, 邢帅, 耿则勋, 等. 遥感影像融合与分辨率增强技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 宋丽玲, 曹王艳. 采用改进型 IHS 变换的遥感图像融合算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(2): 172-178.
- [4] Wang Hongmei, Li Yanjun, Zhang Ke. An improved remote sensing image fusion method[J]. Opto-Electronic Engineering, 2007, 34(7): 50-53.
- [5] Hu Zifu, Zeng Zhiyuan, Zhang Zhenlong, et al. Fusion of multi-spectral bands and panchromatic band of ETM images based on the combination of wavelet transformations

and IHS transformation[J]. Geo-Information Science, 2005, 7(4): 29-32.

- [6] 程三胜, 杨英宝, 李艳雯. 基于局部能量的 A' Troun 小波和 IHS 变换的影像融合研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 93-95.
- [7] 石爱业, 徐立中. 一种自适应模糊密度赋值的小波变换遥感图像融合算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(2): 355-359.
- [8] 贾永红, 李德仁, 孙家柄, 等. 四种 IHS 变换用于 SAR 与 TM 影像复合的比较[J]. 遥感学报, 1998, 2(2): 103-106.
- [9] Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second-generation wavelets[J]. SIAMJ. Math. Anal., 1997, 29(2): 511-546.
- [10] Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transform into lifting steps[J]. Journal of Fourier Analysis and Applications, 1998, 4(3): 245-267.
- [11] 龚建周, 刘彦随, 夏北成, 等. IHS 和小波变换结合多源遥感影像融合质量对小波分解层数的响应[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(8): 1269-1276.

[编辑:宋丽茹]