

# 基于视觉显著性特征的遥感影像道路网提取方法<sup>①</sup>

李润生, 曹 闻

(信息工程大学 地理空间信息学院, 郑州 450052)

**摘 要:** 在遥感影像上, 道路被认为是颜色、纹理、形状相似的狭长线状目标, 基于此特征可知, 整个道路网在影像上会呈现非常显著的特征, 极易引起人眼的注意, 我们称之为感兴趣区域. 感兴趣区域是场景中最能引起用户兴趣、体现图像主要内容的区域, 视觉认知理论的研究表明: 通过视觉注意机制可以模拟人眼的观察过程, 找出遥感影像上的显著区域. 本文提出应用视觉注意机制辅助遥感影像道路网提取的思想, 通过对影像的显著区域进行分析和处理, 得到最终的道路网. 对比实验表明该算法可以有效的提高道路网提取的准确率和完整性.

**关键词:** 视觉认知; 视觉注意机制; 遥感影像; 道路网提取; 智能化识别

## Road Network Extraction Method from Remote Sensing Images Based on Saliency

LI Run-Sheng, CAO Wen

(Institute of Geography Space Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** In the remote sensing images, roads are considered to be the long and narrow linear target which is similar in color, texture and shape. Based on these features, the entire road network in the image will show a very significant feature, which can easily excite the attention of the human, which can be called the region of interest. The region of interest(ROI) in the scene can cause the most interesting of users, which reflects the main content of the image area, visual cognitive theory study shows that the visual attention mechanism can simulate the observation processing of the human eye to identify the salient region of remote sensing images. This paper proposes the idea of using visual attention mechanisms to assist road network extraction by analysising and processing the salient region and get the final road network. Comparative experiments show that the algorithm can effectively improve the accuracy and integrity of the road network extraction.

**Key words:** visual perception; visual attention mechanism; remote sensing images; road network extraction; intelligent identification

在遥感影像上提取道路摄影测量与遥感影像处理中非常重要的内容之一. 国内外学者提出了很多道路提取算法, 唐伟、赵书河<sup>[1]</sup>提出了一种基于 GVF 和 Snake 模型的高分辨率遥感图像四元数空间道路提取方法; 余长慧、易尧华<sup>[2]</sup>采用面向对象目标的思想将 MRF 方法应用于高分辨率遥感影像的道路目标提取; 吴小波<sup>[3]</sup>等提出了利用空间连续性进行高分辨率遥感影像道路提取的思想; 孟樊等<sup>[4]</sup>利用模板匹配和 BSNAKE 算法准自动提取遥感影像面状道路; Qiaoping Zhang<sup>[5]</sup>等学者提出了基于 ATS(Angular Texture Signature)多边形的道路网提取算法; M. Rajeswari<sup>[6]</sup>等

学者提出了利用水平集分割、正则化运算以及 Mean Shift 算法进行道路提取的思想.

尽管以上算法都在某种程度上提取出了道路网, 但这些算法也存在缺点, 没有将道路网视为一个整体, 不符合人类视觉观察的习惯, 故其提取的精度较差. 人类在观察一幅影像时, 会很轻易的将注意力锁定在整个的道路网上, 视觉认知研究也表明灵长类动物在观察物体时, 会自动的将注意力转移到那些特别能引起视觉注意的区域, 即感兴趣区域. 由于道路网在整个影像上会呈现出比较鲜明的特征, 例如其颜色与周围地物的反差较大, 形状相对固定、纹理比较均匀等,

<sup>①</sup>收稿时间:2013-12-06;收到修改稿时间:2014-01-31

这些特征都为人类识别道路网提供了重要线索,如果能够模拟人类观察影像的这种规律,将影像上整个道路网作为感兴趣区域提取出来,然后再进行进一步处理,必将会极大的提高识别的准确率和完整性.视觉认知理论的发展为其提供了大量的理论依据,尤其是视觉注意机制的研究成果可以为道路网的提取提供有利支撑.

基于以上分析,本文提出将视觉认知理论应用于道路网提取的思想,利用视觉注意机制在影像中提取感兴趣区域,然后将显著性值较大的值作为种子点,将感兴趣区域作为缓冲区进行 Snakes 道路提取,并对提取的结果进行梯度运算,挑选出大小相等、方向相反的那些道路段,最后利用形状、方向等特征进行道路段的筛选与连接,实验结果表明该思想可以有效的提高提取的精度.文章的结构安排如下:第二章阐述了视觉认知理论的基本知识,重点介绍了视觉注意机制的原理;第三章介绍了视觉注意机制在道路网提取中的应用;第四章是实验结果和分析.

## 1 视觉注意机制

人们对影像进行观察和应用时,常常会对影像中的某些部分感兴趣,感知心理学、神经生理学以及生理物理学最新研究成果显示:灵长类动物具有其独

特的视觉注意机制,这可以保证他们可以高效的从复杂场景中提取出感兴趣目标和信息<sup>[7]</sup>.例如,作业员进行地图的生成制作时,可以很轻易的识别出新旧影像的差别,还可以识别出地物的类别等特征,这是灵长类动物特有的能力.人类视觉系统在处理外界的信号时不是均匀的采样,而是重点关注某些感兴趣区域(ROI),感兴趣区域是场景中最能引起用户兴趣、体现图像主要内容的区域,因此,感兴趣区域的检测在图像处理和分析领域有着重要的作用.

提取感兴趣区域的基本原理是采用特定的视觉注意模型来进行的,当前,视觉注意模型的种类有很多<sup>[8]</sup>,比较著名的是由 Itti 等提出的感兴趣区域提取模型<sup>[9]</sup>.该模型的构建步骤为:底层视觉特征的提取、特征图的生成、显著图合并策略和注意焦点转移.

人类视觉系统首先被场景中最显著的特征所吸引,这些特征正好对应于显著图中的最大值,故影像中的显著目标即是场景显著图中的最大值.接着,按照“赢者取全”的神经网络检测图中显著性最高的点并将注意焦点转移到这个位置.通过“返回抑制”抑制当前的注意焦点,使得注意焦点向下一个显著性最强的点转移.“赢者取全”和“返回抑制”相互作用,使得显著图中的注意焦点以显著性降序的顺序转移.本文利用典型的遥感图像进行显著区域的提取实验,效果如图 1 所示:

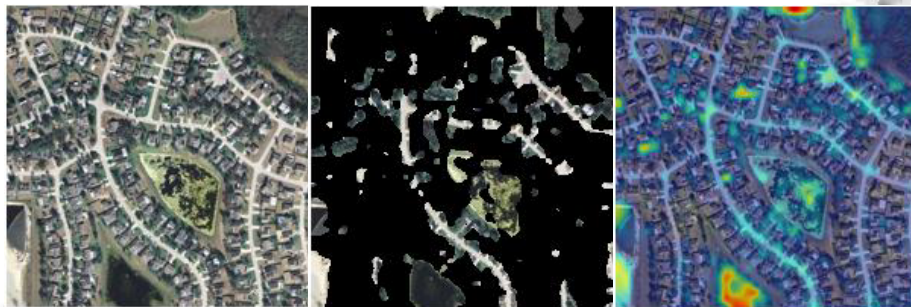


图 1 影像上的显著性区域

图中,左图为原始影像,中间为获得的显著区域,右图为显著区域与原始影像叠加显示效果.由上图可以明显的看出,显著区域能够充分的显示影像中的感兴趣目标,对于道路网这种具有明显的特征的地物而言,使用视觉注意机制获取显著性区域是可行的、合理的.

## 2 基于视觉显著性特征的道路网提取算法

在遥感影像道路网的提取中应用视觉注意机制的

主要目的是提高识别的准确率,现有的算法往往是将道路网看作是分割的道路段,首先将符合条件的道路段提取出来,然后再利用一定的算法对这些道路段进行连接,构成完整的道路网<sup>[10]</sup>.道路段的提取精度会受影像噪声以及道路复杂度的影响,而且在进行道路段的连接时,判断相邻路段是否为同一道路的准则不统一,故其精度也会受到影响.

为了提高道路网提取精度,本文提出将影像上整

个道路网视为一个整体模型的思想, 由于道路网在影像上呈现出色调、亮度基本一致、形状特征比较明显、方向变化规律性强等特征, 人眼可以很轻易的将道路网识别出来, 因此将生物视觉引入到道路网提取上是可行的也是必要的. 由第二节分析可知, 视觉注意机制可以模拟人类观察外界世界的过程, 将人类比较感兴趣的区域或者地物用显著性区域进行表示, 故本文借鉴这个思路将视觉注意机制应用到道路网智能识别当中, 具体的流程图如图 2 所示:

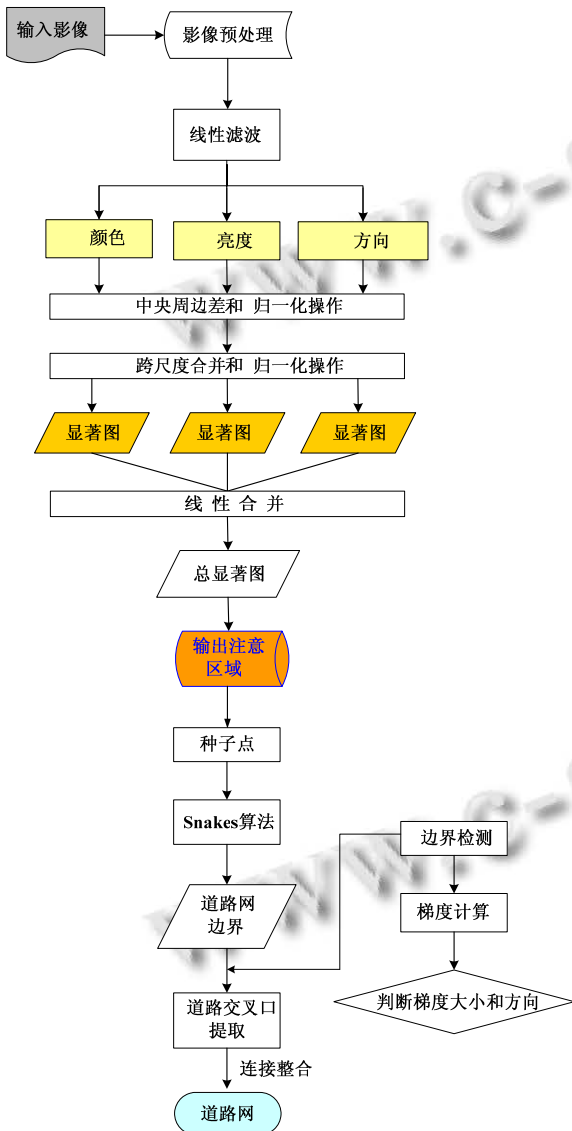


图 2 利用视觉注意机制提取道路网流程图

首先对输入的影像进行预处理去噪后, 利用视觉注意模型分别对影像上像素的颜色、亮度和方向构建各自的显著图, 然后对三种显著图进行合并生成最终

的总显著图, 获得显著区域. 以此显著区域作为搜索空间, 利用 Snakes 模型或者利用道路梯度特征进行道路网的提取, 最终获得整个道路网.

在利用 Snakes 算法提取时, 种子点应该选在影像显著性区域当中显著性值较大的像素上, 这样可以减少 Snakes 迭代的次数, 由文献[3]可知, 影像上道路边界的梯度具有大小相等、方向相反的特点, 为了提高提取的精度, 在获得 Snakes 提取结果后, 分别利用梯度大小和方向对道路段进行进一步筛选, 最终获得候选的道路段.

根据文献[10,11], 影像上道路具有一定宽度, 但是宽度变化不大; 在某些地方有一定的曲率, 但曲率不大, 道路的曲率与其等级有关, 级别越高, 其局部曲率接近直线. 故在对前面获取的结果进行处理时, 将道路段的长度和曲率以及相邻道路段的曲率差作为判断是否是道路网的依据, 判断标准如下式:

$$\omega = \omega_1 L + w_2 \theta + w_3 \Delta \theta \quad (1)$$

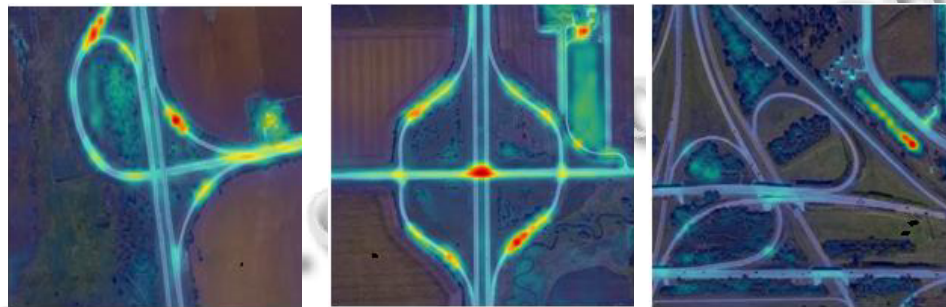
其中L是道路段的长度,  $\theta$  是道路段的曲率,  $\Delta \theta$  是相邻道路段的曲率变化值, 计算过程中, 各参数的权值设置为  $\omega_1 = 0.5, w_2 = 0.2, w_3 = 0.3$ , 由于影像上道路一般长度较长, 故将  $\omega_1$  的权值设为最大可以有效去除匹配结果中的小斑点和小线段, 提高准确率.

### 3 实验结果与分析

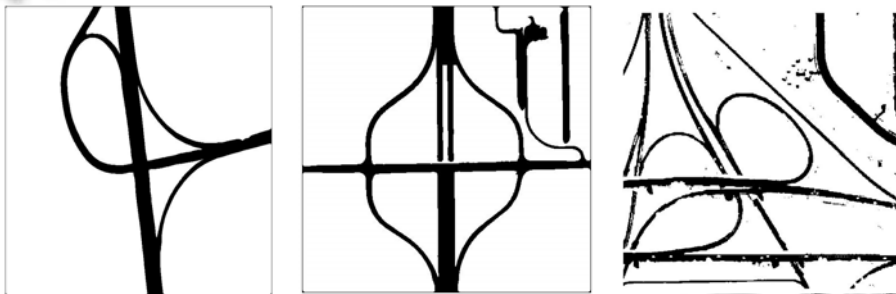
为了对本文提出的思想进行验证, 论文将文献[5]和文献[6]中的算法与本文算法进行比较, 电脑配置为 AMD2.9GHZ 处理器, 内存为 4G, 实验时的环境相同, 分别对六幅影像进行实验, 影像的大小为  $800 \times 690$ , 数据是从 GoogleEarth 上截取的影像, 前三幅影像为高速公路的影像, 后三幅为含有居民地的城市内部影像, 实验时分别统计处理的时间、完整性及准确率. 实验的结果比对如图 3 所示: 其中,(a)为原始影像, (b)利用视觉注意模型提取的显著区域,(c)、(d)分别为文献[5]和文献[6]中的提取结果,(e)为本文算法的提取结果,(f)为作业员手工绘制的结果. 从显著图上可以看出, 整个道路网的显著性值要比其它地物的显著性值高, 而且道路网都包含在显著性区域中, 从提取的结果来看, 文献[5]中的算法容易将平行线道路合并为一条线, 文献[6]中的算法影像上小斑点和细块没有彻底消除, 而本文算法提出的效果在完整性和准确率上都较前两种算法好.



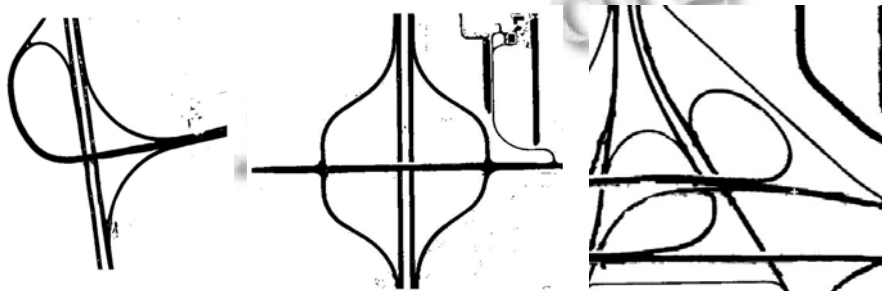
(a) 原始输入影像



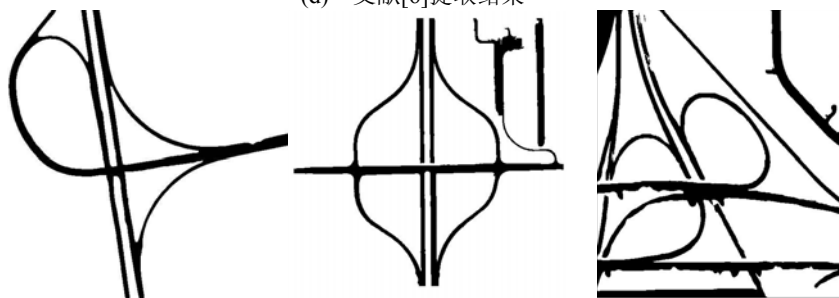
(b) 影像显著性区域计算结果



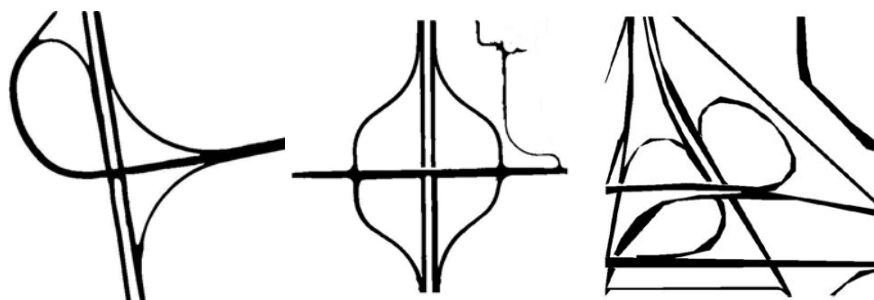
(c) 文献[5]提取结果



(d) 文献[6]提取结果



(e) 本文算法提取结果



(f)作业人员手工绘制提取结果

图 3 对比实验一

对上述影像道路网提取的结果进行分析,比较提取结果的完整性和准确率<sup>[12]</sup>,对实验进行准确率和效率统计如表 1 和表 2 所示:

表 1 三种算法完整性和准确率<sup>[12]</sup>比较

算法类型	完整性和准确率(%)					
	影像一		影像二		影像三	
文献[5]算法	63	68	68	74	76	78
文献[6]算法	79	70	73	73	77	79
本文算法	87	90	87	92	86	88

表 2 三种算法处理效率对比

算法类型	算法处理效率(ms)		
	影像一	影像二	影像三
文献[5]算法	79	63	66
文献[6]算法	99	83	85
本文算法	83	76	76

由上图以及表 1 和表 2 可以得出以下结论:相对于文献[5]和文献[6]中的算法,本文算法提取的道路网的完整性和准确率明显提高,显著区域基本上可以将整个影像上的道路网包括在内,就处理的时间而言,其比文献[5]中的算法要慢些,但是对于影像后处理而言,这种效率是可以接受的.以上数据也充分证明利用视觉注意机制进行道路网的识别是合理可行的.

#### 4 结论

本文对生物视觉在遥感影像地物智能化识别的应用上进行了初步探索,提出了将视觉注意机制引入到影像道路网的提取中的思想,并通过对比实验对该思想进行了验证.由图 6、7 可以看出,和其它两种算法相比,本文算法有明显的优势,其完整性和准确率有明显的提高,这也验证了该思想的可行性.在实验的时候,也发现算法存在的一些不足之处,首先是高斯多尺度空间与人类视觉系统存在一定的差异,这会影响提取的精度;其次是 Gabor 滤波的处理效率较低,

严重制约了整个算法的处理时间;第三,在处理平行线道路并且道路距离很近的时候,容易将两条路误算为一条,虽然本文算法较文献[5]有很大改进,但是其精度还有提高的空间,故本文下一步将会在这三个方面探索更加适合的方法.

#### 参考文献

- 唐伟,赵书河.基于 GVF 和 Snake 模型的高分辨率遥感图像四元数空间道路提取.遥感学报,2011,15(5).
- 余长慧,易尧.利用 MRF 方法的高分辨率影像道路提取.武汉大学学报(信息科学版),2011,36(5).
- 吴小波,杨辽,沈金祥,王杰.利用空间连续性进行高分辨率遥感影像道路提取.武汉大学学报(信息科学版),2011,36(11).
- 孟樊,方圣辉.利用模板匹配和 BSNAKE 算法准自动提取遥感影像面状道路.武汉大学学报(信息科学版),2011,37(1).
- Zhang Q, Couloigner I. Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery. Pattern Recognition Letters, 2006(2).
- Rajeswari MSN, Gurumurthy KS. Automatic road extraction based on level set, normalized cuts and mean shift methods. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(3): 250-257.
- Serences JT, Yantis S. Selective visual attention and perceptual coherence. Trends in Cognitive Sciences, 2006, 10(1): 38-45.
- Koch LC. Computational modeling of visual attention. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-230.
- Itti L. Models of bottom-up and top-down visual attention. California Institute of Technology, 2000.
- Grote A, Heipke C. Road extraction for the update of road databases in suburban areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008, 37(3): 563-568.
- Grote A, Butenuth M, Heipke C. Road extraction in suburban areas based on normalized cuts, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 36(3): 51-56.
- Mirmalinee TT, Das S, Varghese K. An Integrated Multistage Framework for Automatic Road Extraction from High Resolution Satellite Imagery. Indian Society of Remote Sensing 2011,39(1):1-25.