

文章编号 1004-924X(2015)增-0509-07

局部自适应方向模板匹配的 高分辨率遥感影像道路提取

孙可*, 张钧萍

(哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150002)

摘要:提出了一种基于局部自适应方向模板匹配的高分辨率遥感影像道路提取方法。该方法利用局部自适应方向模板匹配对遥感图像进行初步分割,得到二值化的粗糙道路段;利用局部灰度一致性原理对输入图像进行一致性检测,得到图像中各像素点的局部灰度检测结果。将初步分割结果和局部灰度一致性检测结果进行信息融合,获得较纯净的初始道路段。最后,使用道路的形状特征对经信息融合后的结果进行滤波,得到初始道路提取结果。由于道路在空间上是连续的,所以在图像中道路的面积不会太小,利用面积指数剔除小面积区域,利用长宽比指数剔除非道路信息,即可获得提取结果。采用2幅高分辨率遥感影像对算法进行了验证,并与现有的道路提取方法进行了对比。实验结果表明,该方法能较好地提取出道路信息。

关键词:道路提取;高分辨率遥感影像;局部灰度一致性;局部自适应方向模板匹配

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152313.0509

Road extraction from high-resolution remote sensing imagery based on local adaptive directional template match

SUN Ke*, ZHANG Jun-ping

(School of Electronics and Information Engineering,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150002, China)

* Corresponding author, E-mail: 13B905034@hit.edu.cn

Abstract: An approach of road information extraction for the high-resolution remote sensing imagery was proposed based on local adaptive directional template match. The remote sensing imagery was segmented by means of the local adaptive directional template match and a binary image of the coarse road was obtained. Guided by the principle of local gray-scale consistency, the consistency of the input images was tested and the test results on local gray-scale of all the pixels in the image were received. Afterwards, the preliminary segmented results and the results of local gray-scale consistency test were fused to get a better original part of the road. Finally, the results after information fusion were filtered according to the different features of the road shapes and the original part of the road was attained. The areas of the road in the image are not too small as the road is successive from the space aspect. Accordingly, the parts of smaller area were removed on the basis of area index and non-road in-

收稿日期:2015-03-25;修订日期:2015-04-03.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61271348)

formation was also removed based on the length-width ratio, so that the exacted results were obtained. The algorithm was verified by two high-resolution remote sensing images and it was compared with known road information exaction methods were accomplished. The results show that the road information can be more successfully exacted by this approach as shown in the experiment results.

Key words: road extraction; high-resolution remote sensing imagery; local gray-scale consistency; local adaptive directional template match

1 引言

随着空间遥感技术的发展,人们已可以获取大量的遥感影像,如何从这些影像中提取地物信息成为研究热点。作为重要的基础地理信息,道路是城市交通的主干和基础,因此遥感影像道路信息提取对路网维护、交通导航、城市规划等具有重要意义^[1]。但由于遥感影像空间结构复杂以及道路类型众多,同时受车辆、行道树、阴影等的影响,在遥感影像中进行道路提取是一个复杂的工作^[2]。国内外学者对遥感影像中道路信息的检测提取已经进行了 30 多年的研究,研究者从不同的角度提出了很多道路提取方法,这些方法中通常会根据遥感影像的特征和道路类型选择相应的提取方法^[3]。很多研究者通常是先将道路信息从影像背景中分割出来,由于受到“异物同谱”的影响,分割出的道路信息往往包含建筑物顶、草地等其他与道路光谱信息相似的非道路信息,然后根据道路的特征进行建模,剔除非道路信息达到提纯的目的。针对高分辨率遥感影像中进行道路提取, Mena^[4]和 Das 等^[5]比较系统的综述了道路提取的各种方法。Valero 等^[6]利用改进的基于方向的数学形态学从高空间分辨率遥感影像中进行道路网提取,利用邻接图构造路径,然后利用邻接图构造的路径对全色影像中每个像素点通过逐渐增加最小路径长度进行路径开闭操作生成形态学剖面,分析每个像素点的形态学剖面以确定该像素点是否为道路点,形成初始道路段。Zhang 等^[7]首先利用 k 均值聚类对图像进行分割,然后对分割的图像使用模糊逻辑方法找出道路类,使用角度纹理度量构造形状特征对道路类进行优化,提取出真正的道路信息剔除非道路信息以生成道路网。Zhang^[8]利用方向纹理去除城区植被中的道路信息, Wang^[9]借鉴了其思想,改进了方

向纹理算法,用于道路信息的提取。Shi 等^[10]利用图像的光谱特征将图像分为道路和非道路 2 类,然后计算图像局部同质性,利用道路的连续性特征,综合考虑分类图像及图像同质性获取初始道路信息,接下来利用道路形状特征进行提纯道路,最后提取道路中心线生成道路网。

本文基于现有的研究方法,提出了局部自适应方向模板匹配和道路形状特征相结合的高分辨率遥感影像道路提取方法。

2 道路提取方法

2.1 遥感影像分割

影像分割方法一般分为基于区域和基于边缘的分割。基于边缘的影像分割主要依赖目标的边缘信息,对图像的噪声比较敏感。基于区域的影像分割依据图像对象的均匀性将图像分成多个不连续的区域。

利用局部自适应方向模板匹配来实现遥感影像分割,目的是将遥感影像分成道路和非道路 2 类。首先从图像中道路区域选取 2 个 3×3 的种子点模板,该模板定义了水平、垂直、左对角线和右对角线 4 个方向,沿着任一方向有 3 个像素点,其灰度值组成 1 个向量。模板及其方向如图 1 所示。

利用道路结构沿着一个特定的方向是均匀的特征,从图像中以点 (i, j) 为中心截取与道路种子点模板大小相同的区域,沿着模板中 4 个方向的任一方向,获得 3 个像素组成的向量记为 $[f_1, f_2, f_3]$,同样的在 2 个道路种子点模板中沿着同一方向分别可获得 3 个像素组成的向量标记为 $[u_1, u_2, u_3]$ 和 $[v_1, v_2, v_3]$,如图 2 所示。对于图像中点 (i, j) ,分别计算以该点为中心的图像区域某一方向中 3 个像素点组成的向量与 2 个模板中该方向的 3 个像素点组成的向量的 Chaudhuri

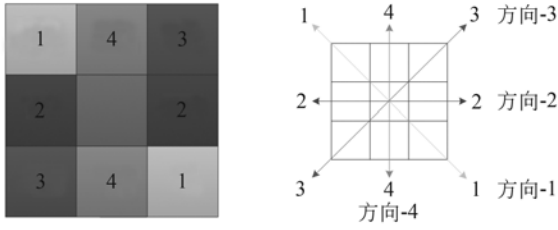


图 1 局部自适应方向模板及其 4 个方向

Fig. 1 Local adaptive directional template and four directions

距离^[11],因为模板共有 4 个方向,所以可得到 8 个图像与模板向量的 Chaudhuri 距离,将 8 个距离值中最小的作为该点的特征值;重复以上步骤计算图像中所有点的特征值,然后将特征值矩阵进行阈值化可得分割的二值图像。

文献[11]对文中用到的 Chaudhuri 距离计算方法进行了详细介绍,这里简要介绍如下:对于 2 个 n 维向量 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 和 $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$,当 $|x_i - y_i|$ 取最大值时的 i 值设为 i_0 。则 Chaudhuri 距离定义为:

$$d_{CH} = |X_{i_0} - Y_{i_0}| + \frac{1}{n - \lfloor \frac{n-2}{2} \rfloor} \sum_{i=1, i \neq i_0}^n |x_i - y_i| \quad (1)$$

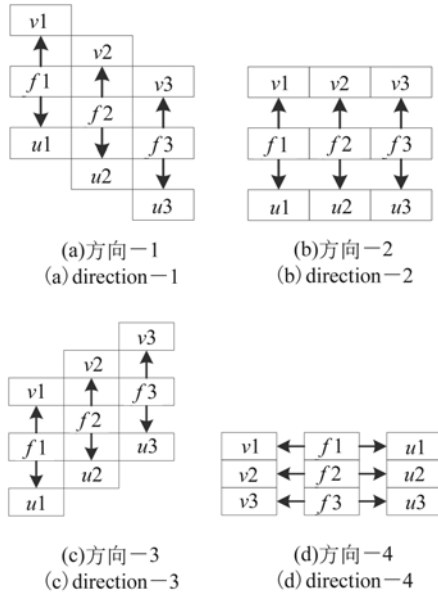


图 2 中心像素 f_2 与 2 个模板度量操作

Fig. 2 Metric operation for central pixel f_2 by 2 templates

算法具体描述如下:

1)首先在图像中道路区域选取 2 个 3×3 的模板,分别记为 V_i 和 U_i ;

2)对于图像中像素点 (i, j) ,以其为中心截取与模板大小相同的图像区域,记为 F_i ;

3)依据定义的 4 方向模板,分别计算 F_i 与 V_i 以及 F_i 和 U_i 4 个方向的 Chaudhuri 距离,得到 8 个距离值,找出其中最小的值记为 d_{FINAL} ;

4)计算图像中所有点的 d_{FINAL} 值,利用式(2)对进行阈值化处理得到图像分割结果。

$$f(i, j) = \begin{cases} 0 & d_{FINAL} > T \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 局部灰度一致性检测

局部灰度一致性检测的目的是检测图像局部灰度值的相似性,将局部灰度值相似的对象标记出来。遥感影像中道路表面一般具有较高的灰度一致性,因此利用这个特点可以将图像中局部灰度相近的道路标记出来,同时面积较大且灰度值变化较小的区域比如建筑物、草地等对象也会被标记出来。检测的过程参考文献[12]的图像分割方法,用 8 邻域模板处理,对具有 n 个波段的遥感影像,具体的处理步骤如下:

1)对于其中 1 个波段中某一像素点 (x, y) ,首先获取该像素点 8 邻域像素点 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$,其灰度值记为 $G_f(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 。

2)分别获得像素点 (x, y) 的 8 邻域像素点灰度值与中心像素点的灰度值之差,记为 $G_{fk}(\Delta x, \Delta y)$,如果灰度差小于设定的阈值 T ,则将置标记 $flag_{fk} = 1$,否则 $flag_{fk} = 0$,其中 $k = 1, 2 \dots 8$ 。重复此操作,直至点 (x, y) 的邻域像素处理完毕。

3)依据式(3),由中心点与 8 个邻域像素点的灰度差确定中心点的标记 $flag_f$ 。

$$flag_f = \begin{cases} 1 & \prod_{k=1}^8 flag_{fk} = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

4)分别求出 n 个波段中点 (x, y) 的 $flag_{fi}$ 值,记为 $flag_{fi}$,其中 $i = 1, 2 \dots n$ 。

5)综合考虑 n 个波段中点 (x, y) 处的标记,求得像素点 (x, y) 的新值 $f(x, y)$, $f(x, y)$ 值依据式(4)进行计算。

$$f(x, y) = \begin{cases} 255 & \prod_{i=1}^n \text{flag}_{fi} = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}, \quad (4)$$

6) 重复上述操作, 计算完所有像素点, 得到局部灰度一致的多个目标。

该算法原理如图 3 所示。若处理的图像为全色图像或单波段灰度图像, 则第 4) 步和第 5) 步中 n 值设定为 1 即可。

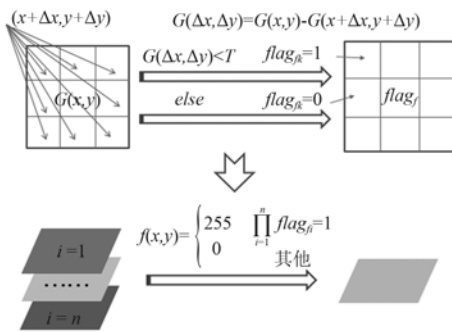


图 3 局部灰度一致性检测原理图

Fig. 3 Schematic diagram of Local gray scale consistency detection

2.3 信息融合

由于受“异物同谱”的影响, 仅依靠局部自适应方向模板匹配很难完全将道路与其他人造地物区分开, 可以充分考虑道路的不同特征进行处理。本研究中, 综合考虑图像分割和图像局部灰度一致性测量结果, 将二者结果进行信息融合, 达到优化道路提取的精度目的。信息融合的规则为:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{且该点局部灰度一致性小于设定的阈值,} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中: 图像中道路点赋值 1, 0 表示非道路点。

经信息融合后, 图像中部分非道路信息会被剔除, 提高了道路提取的准确度。

2.4 基于道路形状特征滤波

经过信息融合过程, 虽然一些非道路点会被剔除, 但该步骤并不能将非道路信息完全剔除。接下来考虑道路的形状信息进一步剔除非道路点达到提纯道路的目的。考虑了道路的面积、长宽比 2 个形状特征。

1) 利用面积阈值剔除非道路信息

依据道路在空间上是连续的特点, 图像中提

取的道路应该是较长的连续区域, 因此道路的面积会较大。因此利用道路的这个特点可以对提取的结果进行面积阈值滤波, 过滤掉面积较小的非道路信息。

2) 利用长宽比指数剔除非道路信息

道路具有明显的线状特征, 通过对提取结果中各对象线性特征的识别, 剔除不具有线状特征(如点状特征、面状特征等)的干扰目标, 可以将道路兴趣区从背景中分离出来。长宽比指数是常用的线性特征指标, 传统的长宽比定义为:

$$R = \frac{L_{\text{mer}}}{W_{\text{mer}}}, \quad (6)$$

其中, L_{mer} 和 W_{mer} 分别为检测区域的最小外接矩形的长度和宽度。

当使用上述长宽比特征进行道路提取时, 如果道路是弯曲的则不能很好地描述道路线性特征。针对这一局限性, 以检测区域的像素点总数为外接矩形的面积, 以最小外接矩形的对角线为长边建立新的矩形, 则:

$$W = n/L, \quad (7)$$

其中: W 为新外接矩形的宽度, n 为检测区域的像素点数, L 为最小外接矩形的对角线长度, L 利用式(8)进行计算:

$$L = \sqrt{L_{\text{mer}}^2 + W_{\text{mer}}^2}. \quad (8)$$

3 道路提取流程

本文提出的道路提取流程如图 4 所示, 具体步骤如下:

1) 对遥感影像预处理进行平滑降噪, 过滤掉噪声点。选择中值滤波算子对遥感影像进行降噪处理。

2) 利用局部自适应方向模板匹配方法对输入图像进行分割, 得到二值化的初始道路段图像。

3) 利用局部灰度一致性原理对输入图像进行一致性检测。

4) 将第 2) 步和第 3) 步获得的结果进行信息融合, 获得较纯净的初始道路段。

5) 使用道路的形状特征对经信息融合的结果进行滤波。由于道路在空间上是连续的, 所以在图像中道路的面积不会太小, 因此首先利用面积指数剔除小面积区域, 然后在利用长宽比指数剔除非道路信息, 获得提取结果。

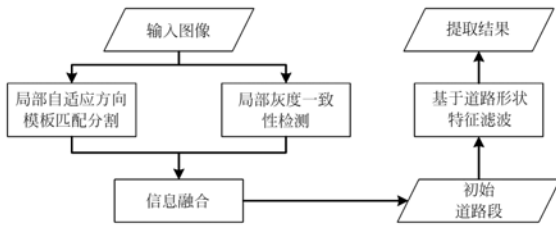


图 4 道路提取流程

Fig. 4 Flowchart of proposed method of road extraction

4 实验结果与分析

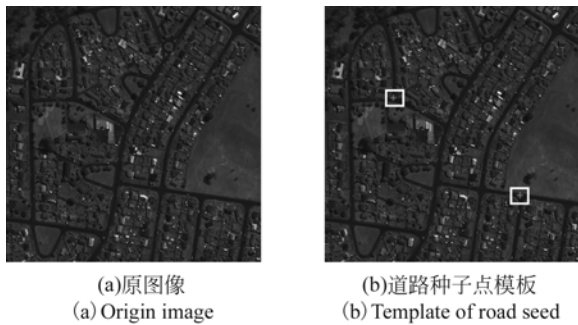
选择了 2 组图像进行实验,第 1 组使用的是单波段全色图像,第 2 组使用的是 3 波段 RGB 图像。

4.1 实验 1

选取 IKONOS 全色图像,图像大小为 512×512 像素,分辨率为 1 m,如图 5(a)所示。首先对图像进行中值滤波,滤波窗口大小为 3×3 ;在平滑的基础上使用局部自适应方向模板匹配方法对输入图像进行分割,种子点模板右上角坐标用方框圈出,见图 5(b),分割后结果如图 5(c)所示,从结果可以看出道路信息与背景已经分开,得到粗糙的道路段;接下来使用局部灰度一致性对图像局部同质性计算,然后将上 2 步的结果进行信息融合,融合的结果见图 5(d);然后用面积阈值和长宽比阈值进行提纯,面积阈值和长宽比阈值分别为 100 和 9,提纯结果分别如图 5(e)和图 5(f)所示。

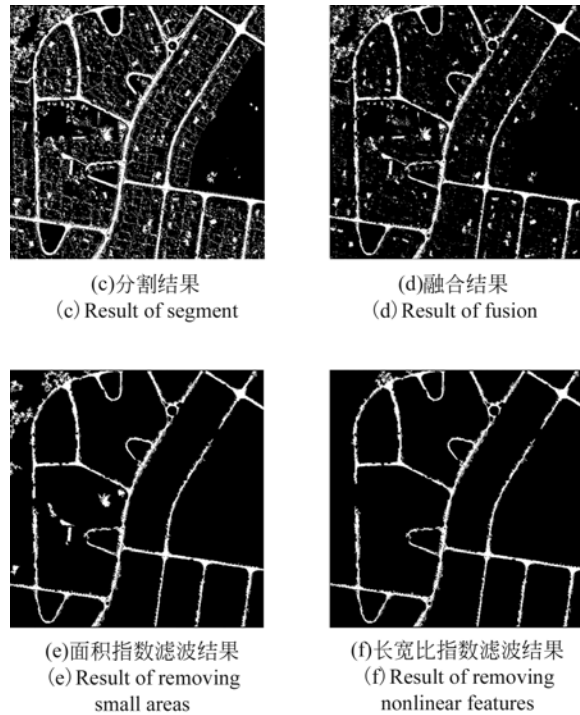
4.2 实验 2

选取了一幅 RGB 图像进行实验,结果如图 6 所示。



(a)原图像
(a) Origin image

(b)道路种子点模板
(b) Template of road seed



(c)分割结果
(c) Result of segment

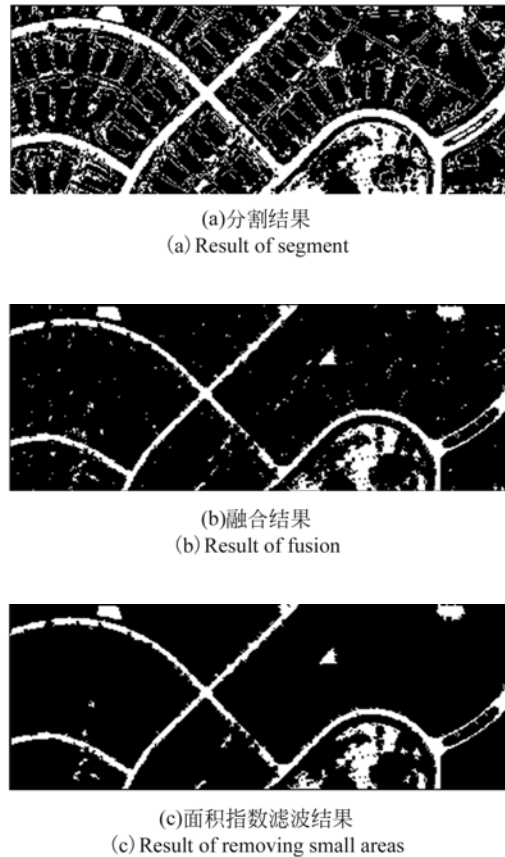
(d)融合结果
(d) Result of fusion

(e)面积指数滤波结果
(e) Result of removing small areas

(f)长宽比指数滤波结果
(f) Result of removing nonlinear features

图 5 实验 1 结果

Fig. 5 Result of experiment 1



(a)分割结果
(a) Result of segment

(b)融合结果
(b) Result of fusion

(c)面积指数滤波结果
(c) Result of removing small areas



(d)长宽比指数滤波结果
(d) Result of removing nonlinear features

图 6 实验 2 结果

Fig. 6 Result of experiment 2

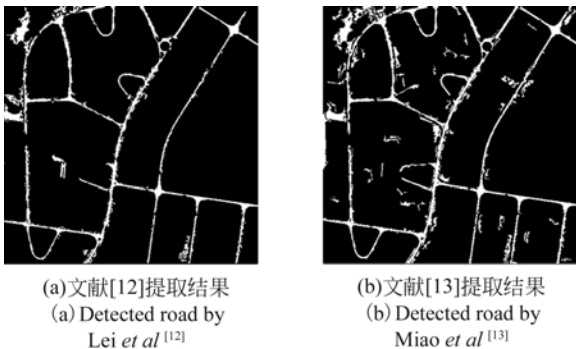


图 7 道路提取结果对比

Fig. 7 Comparison of road extraction results

4.3 实验 3

将本文提出的道路提取方法与文献[12]和文献[13]的方法进行了对比,见图 5(f)与图 7(a)及图 7(b)所示。从结果可以看出,本文提出的方法能够取得更好的提取效果。

5 结 语

文章利用局部自适应方向模板匹配方法对遥感影像进行分割得到二值化的初始道路段图像;然后利用局部灰度一致性原理对输入图像进行一致性检测,得到图像中各像素点的局部灰度检测结果;将初步分割结果和局部灰度一致性检测结果进行信息融合,获得较纯净的初始道路段。最后使用道路形状特征对经信息融合的结果进行滤波。在局部灰度一致性检测中,由于考虑的是图像的灰度值,很多与道路在这方面具有相同特性的地物也被标记出来。在进行各步骤处理时需要人工设定阈值,阈值不同会得出不同的结果,因此还有待进一步改进。在利用道路的几何特征进行道路特征提纯时,道路几何特征的选取和设计是关键问题,还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] DAS S, MIRNALINEE T T, VARGHESE K. Use of salient features for the design of a multistage framework to extract roads from high-resolution multispectral satellite images [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remotesens.*, 2011, 49(10):3906-3931.
- [2] 李晓峰,张树清,韩富伟,等. 基于多重信息融合的高分辨率遥感影像道路信息提取[J]. *测绘学报*, 2008, 37(2):178-184.
LI X F, ZHANG S Q, HAN F W, *et al.*. Road extraction from high-resolution remote sensing images based on multiple information fusion[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(2): 178-184. (in Chinese)
- [3] 杨晓亮,文贡坚. 高分辨率遥感影像中提取道路网方法综述[J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(3):465-471.
YANG X L, WEN G J. Review on the methods for road network extraction from high-resolution remote sensing images [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2012, 27(3):467-471. (in Chinese)
- [4] MENA J B. State of the art on automatic road extraction for GIS update: A novel classification[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24(16): 3037-3058.
- [5] DAS S, MIRNALINEE T T, VARGHESE K. Use of salient features for the design of a multistage framework to extract roads from high-resolution multispectral satellite images [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remotesens.*, 2011, 49(10):3906-3931.
- [6] VALERO S, CHAANUSSOT J, BENEDIKTSSON J A, *et al.*. Advanced directional mathematical morphology for the detection of the road network in very high resolution remote sensing images [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, 31:1120-1127.
- [7] ZHANG Q P, COULOIGNER I. Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27:

- 937-946.
- [8] ZHANG Y. Texture-integrated classification of urban treed areas in high-resolution color-infrared imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2001, 67(12):1359-1365.
- [9] WANG R S, HU Yong, ZHANG X M. Extraction of road networks using pan-sharpened multispectral and panchromatic quickbird images [J]. *Geomatica*, 2005, 59(3):263-273.
- [10] SHI W Z, MIAO Z L, DEBAYLE J. An integrated method for urban main-road centerline extraction from optical remotely sensed imagery [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 52(6):3359-3372.
- [11] CHAUDHURI D, MURHTY C A, CHAUDHURI B B. A modified metric to compute distance [J]. *Pattern Recognition*, 1992, 25(7):667-677.
- [12] 雷小奇, 王卫星, 赖均. 一种基于形状特征进行高分辨率遥感影像道路提取方法 [J]. *测绘学报*, 2009, 38(5):457-465.
- LEI X Q, WANG W X, LAI J. A method of road extraction from high-resolution remote sensing images based on shape features [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2009, 38(5):457-465. (in Chinese)
- [13] MIAO Z L, SHI W Z, ZHANG H, et al. Road centerline extraction from high-resolution imagery based on shape features and multivariate adaptive regression splines [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2013, 10(3):583-587.

作者简介:



孙可(1979—),男,山东滕州人,博士研究生,副编审,2010年于沈阳师范大学获得硕士学位,主要进行高分辨率遥感影像信息提取的研究。E-mail: 13B905034@hit.edu.cn

导师简介:



张钧萍(1970—),女,黑龙江哈尔滨人,哈尔滨工业大学信号与信息处理学科教授,博士生导师,IEEE会员,中国图象图形学会会员,主要从事遥感影像处理的研究。E-mail: zhangjp@hit.edu.cn

文章编号 1004-924X(2015)增-0516-07

基于局部方差和互信息的融合图像质量评价

王宇庆*

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘要:图像融合不仅涉及信息的量化传递,还要考虑传递信息的类型是否符合人眼视觉特性。为了能够正确评价融合图像中人眼敏感信息的增量,本文设计了一种基于局部方差和奇异值分解的融合图像客观评价方法。将局部方差用于表示图像的结构信息;考虑到局部方差对于图像的细节信息过于敏感,用奇异值分解的方法来得到能够表示局部方差分布的能量矩阵;用互信息的方法度量源图像与融合图像能量矩阵的结构差异。最后,将比较结果作为融合图像算法的质量评价结果。实验结果表明,该方法对融合图像的质量评价结果与人眼视觉特性的一致程度以及算法的稳定性都要高于传统方法,两组典型实验中对于小波和金字塔等性能较优的融合方法的评价结果为 2.879 0 和 1.922 5 以及 2.629 8 和 1.910 3,均优于传统融合评价算法。

关键词:图像融合;质量评价;局部方差;奇异值分解

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152313.0516

收稿日期:2015-05-18;修订日期:2015-06-22.

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(No. 61201368)