



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106295604 B

(45)授权公告日 2017. 11. 03

(21)申请号 201610693722.9

G06K 9/44(2006.01)

(22)申请日 2016.08.19

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 101551863 A, 2009.10.07,

申请公布号 CN 106295604 A

CN 105005761 A, 2015.10.28,

(43)申请公布日 2017.01.04

US 2011254969 A1, 2011.10.20,

(73)专利权人 厦门大学

滕鑫鹏. 一种改进的基于结构张量的高分辨率遥感图像道路提取算法.《科技通报》.2013, 第29卷(第2期),

地址 361000 福建省厦门市思明南路422号

(72)发明人 臧彧 王程 杨文韬 罗伦

审查员 徐蓉

李迪龙

(74)专利代理机构 深圳市合道英联专利事务所

(普通合伙) 44309

代理人 刘辉 廉红果

(51)Int. Cl.

G06K 9/00(2006.01)

G06K 9/36(2006.01)

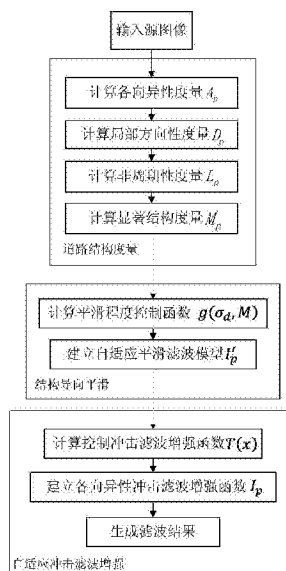
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

基于联合滤波的遥感影像路网提取技术

(57)摘要

本发明公开了一种基于联合滤波的遥感影像的路网提取技术,结合人类视觉系统认知规律,根据显著图像结构在人类认知中所形成的非周期性、各向异性以及局部方向性,建立了一个完整的对道路显著结构的数学度量模型;在道路显著结构度量模型的指导下,结合流线方向性,建立了一个自适应平滑滤波函数,结合像素点空间距离高斯函数,实现对道路遥感影像的自适应平滑;在道路显著结构度量模型的指导下,结合极大极小值滤波,定义了一个自适应冲击滤波函数,该函数在不同区域产生的冲击增强强度不同,从而实现自适应的冲击滤波增强,从而在平滑非道路结构区域的同时保留显著道路结构,实现道路提取过程中遥感影像的预处理。



1. 基于联合滤波的遥感影像路网提取方法,其特征在於,包括以下步骤:

S1、输入源图像,计算源图像的道路显著结构度量模型 M_p ,所述显著结构度量模型 M_p 具有如下形式,

$$M_p = A_p \cdot D_p \cdot L_p$$

式中,函数 A_p 、 D_p 以及 L_p 是中心像素点 p 显著结构的各向异性、局部方向性以及非周期性的度量,具体计算步骤如下:

S11、各向异性度量 A_p 通过下式计算

$$A_p = \frac{\lambda_{1,p} - \lambda_{2,p}}{\lambda_{1,p} + \lambda_{2,p}}$$

式中 $\lambda_{1,p}$ 以及 $\lambda_{2,p}$ 分别为中心像素点 p 处结构张量矩阵 S_p 的特征值,以较大的特征值 $\lambda_{1,p}$ 为主特征值,较小的特征值 $\lambda_{2,p}$ 为副特征值;

中心像素点 p 处的结构张量 S_p 通过下式计算

$$S_p = \begin{pmatrix} \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_x I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle \\ \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_y I_q, \nabla_y I_q \rangle \end{pmatrix}$$

式中 q 为流线上像素点,其为以中心像素点 p 的一个邻域 $N(p)$ 内的一个像素点, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积运算; I_q 为流线上像素点 q 的像素值, $\nabla_x I_q$ 及 $\nabla_y I_q$ 为流线上像素点 q 在 x 和 y 方向的偏导数;

S12、局部方向性的度量 D_p 通过下式计算

$$D_p = \frac{\sum_{q \in N(p)} A_q \cdot \langle \vec{\epsilon}_p, \vec{\epsilon}_q \rangle}{\sum_{q \in N(p)} A_q}$$

式中 $\vec{\epsilon}_p$ 、 $\vec{\epsilon}_q$ 分别为中心像素点 p 和流线上像素点 q 的结构张量矩阵对应的副特征向量, $N(p)$ 为中心像素点 p 所在的邻域, A_q 为流线上像素点 q 点的显著性度量值;

S13、非周期性度量 L_p 通过下式计算

$$L_p = \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_x I_q \right| + \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_y I_q \right|$$

式中 $w_{p,q}$ 为权值,通过下式计算

$$w_{p,q} = \exp\left(-\frac{\|x_p - x_q\| + \|y_p - y_q\|}{2\sigma^2}\right)$$

式中 (x_p, y_p) 为中心像素点 p 的坐标; (x_q, y_q) 为流线上像素点 q 的坐标; σ 为高斯函数中的标准差;

S2、基于道路显著结构度量模型引导,结合线积分卷积相关原理,建立新的自适应平滑积分模型,对非道路结构的特征和潜在道路结构特征进行自适应的平滑滤波,具体计算步骤如下:

S21、计算平滑程度控制函数 $g(\sigma_d, M)$,

$$g(\sigma_d, M) = \exp\left(-\frac{\left(|\langle \varepsilon_p \times \varepsilon_q \rangle| \cdot (M_p - M_q)\right)^2}{2\sigma_d^2}\right)$$

$g(\sigma_d, M)$ 为高斯核函数, 式中, σ_d 为 $g(\sigma_d, M)$ 的宽度参数, M 为源图像的道路显著结构度量模型的值, M_p 和 M_q 为中心像素点 p 和流线上像素点 q 处的道路显著结构度量模型的值;

S22、结合导向滤波概念与线积分卷积思想, 定义了一个自适应平滑滤波函数 I'_p ,

$$I'_p = \frac{1}{K} \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \cdot I_q \, dq$$

其中, $K = \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \, dq$ 为 I'_p 的归一化参数, $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 为传统线积分卷积过程中采用的一维低通滤波器的高斯核函数, 通过下式计算,

$$w_{p,q}^g(\sigma_g, I) = \exp\left(-\frac{|x_p - x_q|^2}{2\sigma_g^2}\right)$$

其中, x_p 和 x_q 分别为中心像素点 p 与流线上像素点 q 的 x 坐标值; I 为源图像像素点的像素值; σ_g 是 $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 的宽度参数, 控制 $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 的径向作用范围;

S3、根据所得平滑后图像, 结合极大值极小值滤波方法, 以道路结构模型为导向, 建立一种改进的冲击滤波模型, 实现对显著道路结构的增强, 具体计算步骤如下:

S31、计算控制冲击滤波增强函数 $T(x)$,

$$T(x) = \frac{(1 + \tanh(\lambda(x - 0.5)))}{2}$$

其中 x 为制冲击滤波增强函数输入值, $\tanh(\lambda(x - 0.5))$ 为双曲正切函数; λ 为控制增强程度的因子, 越大的值对应越锐利的边缘;

S32、建立各向异性冲击滤波增强函数 I_p ,

$$I_p = T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right) D(I)_p + \left(1 - T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)\right) E(I)_p$$

其中, $D(I)_p$, $E(I)_p$ 为中心像素点 p 对应膨胀、腐蚀的值, 函数 $T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)$ 由步骤 S31 的公式计算, $\text{sign}(v_{\eta\eta})$ 为边缘检测算子的符号函数, 边缘检测算子 $v_{\eta\eta}$ 通过下式计算,

$$v_{\eta\eta} = c^2 I_{xx} + 2cs I_{xy} + s^2 I_{yy}$$

这里 c 和 s 为图像中结构张量场对应主特征向量的两个分量; I_{xx} 为图像沿 x 方向的二阶偏导数; I_{yy} 为图像在 y 方向上的二阶偏导数; I_{xy} 为图像在 x 方向和 y 方向上各计算一次一阶偏导数的结果。

2. 根据权利要求 1 所述的基于联合滤波的遥感影像路网提取方法, 其特征在于: 所述邻域 $N(p)$ 为边长为 5 像素的正方形区域。

3. 根据权利要求 1 所述的基于联合滤波的遥感影像路网提取方法, 其特征在于: 步骤

S32建立各向异性冲击滤波增强函数 I_p 的主要目的在于,使得视觉显著的结构得到更强程度的增强,而对其它区域按照传统方式计算,具体来说,对位于高显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 1$,此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为,

$$I_p = \begin{cases} E(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} > 0 \text{ 时} \\ D(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} < 0 \text{ 时} \\ (D(I)_p + E(I)_p)/2, & \text{其他} \end{cases}$$

相反的,对位于低显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 0$,此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为 $I_p = (D(I)_p + E(I)_p)/2$,增强效果减弱。

基于联合滤波的遥感影像路网提取技术

技术领域

[0001] 本发明涉及遥感应用领域,特别涉及一种基于联合滤波的遥感影像路网提取技术。

背景技术

[0002] 遥感技术具有高效性、实时性以及信息多元化等特点,其作为一种先进的对地观测方法在城市交通领域中发挥了重要的作用。

[0003] 在基于遥感技术的道路提取中,传统道路提取算法主要依赖于道路的几何地理特征,利用道路区域的识别规则对道路进行提取。近年来,道路提取相关领域倾向于建立复杂的系统用以提取道路信息,其中多类方法采用了相关滤波技术。传统道路提取滤波方法如高斯滤波,中值滤波等,均对整幅卫星遥感图像进行程度一致的滤波。此类方法对于复杂的遥感影像,难以在平滑非道路信息的同时保留道路特征。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服上述现有技术的不足,提供一种基于联合滤波的遥感影像路网提取技术。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 基于联合滤波的遥感影像路网提取技术,包括以下步骤:

[0007] S1、输入源图像,计算源图像的道路显著结构度量模型 M_p ,所述显著结构度量模型 M_p 具有如下形式,

[0008] $M_p = A_p \cdot D_p \cdot L_p$

[0009] 式中,函数 A_p 、 D_p 以及 L_p 是中心像素点 p 显著结构的各向异性、局部方向性以及非周期性的度量;

[0010] S2、基于道路显著结构度量模型引导,结合线积分卷积相关原理,建立新的自适应平滑积分模型,对非道路结构的特征和潜在道路结构特征进行自适应的平滑滤波;

[0011] S3、根据所得平滑后图像,结合极大值极小值滤波方法,以道路结构模型为导向,建立一种改进的冲击滤波模型,实现对显著道路结构的增强。

[0012] 进一步地,步骤S1的计算具体如下:

[0013] S11、各向异性度量 A_p 通过下式计算

[0014]
$$A_p = \frac{\lambda_{1,p} - \lambda_{2,p}}{\lambda_{1,p} + \lambda_{2,p}}$$

[0015] 式中 $\lambda_{1,p}$ 以及 $\lambda_{2,p}$ 分别为中心像素点 p 处结构张量矩阵 S_p 的特征值,以较大的特征值 $\lambda_{1,p}$ 为主特征值,较小的特征值 $\lambda_{2,p}$ 为副特征值;

[0016] 中心像素点 p 处的结构张量通过下式计算

$$[0017] \quad S_p = \begin{pmatrix} \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_x I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle \\ \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_y I_q, \nabla_y I_q \rangle \end{pmatrix}$$

[0018] 式中 q 为流线上像素点,其为 p 的一个邻域 $N(p)$ 内的一个像素, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积运算; I_q 为流线上像素点 q 的强度值, $\nabla_x I_q$ 及 $\nabla_y I_q$ 为流线上像素点 q 在 x 和 y 方向的偏导数;

[0019] S12、局部方向性的度量 D_p 通过下式计算

$$[0020] \quad D_p = \frac{\sum_{q \in N(p)} A_q \cdot \langle \vec{\varepsilon}_p, \vec{\varepsilon}_q \rangle}{\sum_{q \in N(p)} A_q}$$

[0021] 式中 $\vec{\varepsilon}_p, \vec{\varepsilon}_q$ 分别为中心像素点 p 和流线上像素点 q 的结构张量矩阵对应的副特征向量, $N(p)$ 为中心像素点 p 所在的邻域, A_q 为流线上像素点 q 点的显著性度量值;

[0022] S13、非周期性度量 L_p 通过下式计算

$$[0023] \quad L_p = \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_x I_q \right| + \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_y I_q \right|$$

[0024] 式中 $w_{p,q}$ 为权值,通过下式计算

$$[0025] \quad w_{p,q} = \exp\left(-\frac{\|x_p - x_q\| + \|y_p - y_q\|}{2\sigma^2}\right)$$

[0026] 式中 (x_p, y_p) 为中心像素点 p 的坐标; (x_q, y_q) 为流线上像素点 q 的坐标; σ 为高斯函数中的标准差。

[0027] 更进一步地,所述邻域 $N(p)$ 为边长为5像素的正方形区域。

[0028] 进一步地,步骤S2具体包括以下步骤:

[0029] S21、计算平滑程度控制函数 $g(\sigma_d, M)$,

$$[0030] \quad g(\sigma_d, M) = \exp\left(-\frac{(|\langle \vec{\varepsilon}_p \times \vec{\varepsilon}_q \rangle| \cdot (M_p - M_q))^2}{2\sigma_d^2}\right)$$

[0031] $g(\sigma_d, M)$ 为高斯核函数,式中, σ_d 为 $g(\sigma_d, M)$ 的宽度参数, M 为源图像的道路显著结构度量模型的值, M_p 和 M_q 代表中心像素点 p 和流线上像素点 q 处的道路显著结构度量模型的值;

[0032] S22、结合导向滤波概念与线积分卷积思想,定义了一个自适应平滑滤波函数 I'_p ,

$$[0033] \quad I'_p = \frac{1}{K} \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \cdot I_q \, dq$$

[0034] 其中, $K = \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \, dq$,为 I'_p 的归一化参数, I 为源图像像素点的像素值, I_q 为流线上像素点 q 的像素值, $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 为传统线积分卷积过程中采用的一维低通滤波器的高斯核函数,通过下式计算,

$$[0035] \quad w_{p,q}^g(\sigma_g, I) = \exp\left(-\frac{|x_p - x_q|^2}{2\sigma_g^2}\right)$$

[0036] 其中, x_p 和 x_q 代表着中心像素点 p 与流线上像素点 q 的 x 坐标值; σ_g 是 $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 的宽度参数, 控制 $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 的径向作用范围。

[0037] 进一步地, 所述步骤S3具体包括以下步骤:

[0038] S31、计算控制冲击滤波增强函数 $T(x)$,

$$[0039] \quad T(x) = \frac{(1 + \tanh(\lambda(x - 0.5)))}{2}$$

[0040] 其中 x 为制冲击滤波增强函数输入值, $\tanh(\lambda(x - 0.5))$ 为双曲正切函数; λ 为控制增强程度的因子, 越大的值对应越锐利的边缘;

[0041] S32、建立各向异性冲击滤波增强函数 I_p ,

$$[0042] \quad I_p = T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)D(I)_p + \left(1 - T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)\right)E(I)_p$$

[0043] 其中, $D(I)_p, E(I)_p$ 为中心像素点 p 对应膨胀、腐蚀的值, 函数 $T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)$ 由步骤S31的公式计算, $\text{sign}(v_{\eta\eta})$ 为边缘检测算子的符号函数, 边缘检测算子 $v_{\eta\eta}$ 通过下式计算,

$$[0044] \quad v_{\eta\eta} = c^2 I_{xx} + 2cs I_{xy} + s^2 I_{yy}$$

[0045] 这里 c 和 s 为图像中结构张量场对应主特征向量的两个分量; I_{xx} 为图像沿 x 方向的二阶偏导数; I_{yy} 为图像在 y 方向上的二阶偏导数; I_{xy} 为图像在 x 方向和 y 方向上各计算一次一阶偏导数的结果。

[0046] 更进一步地, 步骤S32建立各向异性冲击滤波增强函数 I_p 的主要目的使得视觉显著的结构得到更强程度的增强, 而对其它区域按照传统方式计算, 具体来说, 对位于高显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 1$, 此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为:

$$[0047] \quad I_p = \begin{cases} E(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} > 0 \text{ 时} \\ D(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} < 0 \text{ 时} \\ (D(I)_p + E(I)_p)/2, & \text{其他} \end{cases}$$

[0048] 相反的, 对位于低显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 0$, 此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为 $I_p = (D(I)_p + E(I)_p)/2$, 增强效果减弱。

[0049] 采用上述技术方案后, 本发明与背景技术相比, 具有如下优点: 以显著道路结构度量模型为指导, 提出了一种自适应的结构导向平滑滤波算法; 进而以结构度量模型为指导, 结合极大值与极小值滤波, 定义了一个控制冲击滤波增强程度的函数, 该函数在不同区域产生的冲击增强强度不同, 从而实现自适应的冲击滤波增强, 在平滑非道路结构区域的同时保留显著道路结构, 实现道路提取过程中遥感影像的预处理。

附图说明

[0050] 图1为本发明流程图；

[0051] 图2为本发明的结构模型度量效果图，其中图2a是输入源图像，图2b是结构模型度量结果；

[0052] 图3为本发明的自适应平滑效果图，其中图3a是输入源图像，图3b是自适应平滑结果；

[0053] 图4为本发明所得联合滤波结果与采用协方差矩阵度量方法结果在效果上的对比，其中图(a)是输入源图像，图(b)是karacan算法的滤波效果，图(c)是本发明方法所得滤波结果；

[0054] 图5为本发明所得联合滤波结果应用在不同道路提取算法中的检测效果对比图，其中图5(a)，(c)，(e)是未应用本发明滤波方法的检测结果，图5(b)，(d)，(f)是在相同基础上应用本发明进行滤波后的检测结果。

具体实施方式

[0055] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0056] 实施例

[0057] 在认知心理学中人类视觉认知规律可以从以下几个信息中来判断和支持：

[0058] 各向异性，视觉显著的结构在图像中的强度变化会形成主要的方向，并不是在每个方向上均等变化的；

[0059] 非周期性，局部区域的纹理细节会周期性地出现不同，人类对周期性纹理细节认知容易被抑制而更关注非周期性出现的细节特征；

[0060] 局部方向性，在局部区域内，显著的视觉结构所具有的强度变化通常有一致的方向性，而一些纹理细节信息却不具备这样的性质。

[0061] 如图1所示的是本发明的流程图，主要包括以下三个步骤：

[0062] S1、输入源图像，计算源图像的道路显著结构度量模型 M_p ，所述显著结构度量模型 M_p 具有如下形式，

$$[0063] \quad M_p = A_p \cdot D_p \cdot L_p$$

[0064] 式中，函数 A_p 、 D_p 以及 L_p 是像素点 p 显著结构的各向异性、局部方向性以及非周期性的度量；

[0065] S2、基于道路显著结构度量模型引导，结合线积分卷积相关原理，建立新的自适应平滑积分模型，对非道路结构的特征和潜在道路结构特征进行自适应的平滑滤波；

[0066] S3、根据所得平滑后图像，结合极大值极小值滤波方法，以道路结构模型为导向，建立一种改进的冲击滤波模型，实现对显著道路结构的增强。

[0067] 其中，步骤S1具体包括以下步骤：

[0068] S11、各向异性度量 A_p 通过下式计算

$$[0069] \quad A_p = \frac{\lambda_{1,p} - \lambda_{2,p}}{\lambda_{1,p} + \lambda_{2,p}}$$

[0070] 式中 $\lambda_{1,p}$ 以及 $\lambda_{2,p}$ 分别为中心像素点 p 处结构张量矩阵 S_p 的两个特征值，结构张量

矩阵 S_p 为半正定矩阵,这里记较大的特征值 $\lambda_{1,p}$ 为主特征值,较小的特征值 $\lambda_{2,p}$ 为副特征值;可以看出 A_p 的值域为 $[0, 1]$,其值越大意味着该像素点处的各向异性程度越高。

[0071] 中心像素点 p 处的结构张量通过下式计算

$$[0072] \quad S_p = \begin{pmatrix} \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_x I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle \\ \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_x I_q, \nabla_y I_q \rangle & \sum_{q \in N(p)} \langle \nabla_y I_q, \nabla_y I_q \rangle \end{pmatrix}$$

[0073] 式中 q 为 p 的一个邻域 $N(p)$ 内的一个像素,本实施例中 $N(p)$ 为边长为5像素的正方形区域;以 \cdot 表示 $\langle \rangle$ 中的元素,则 $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积运算; I_q 为流线上像素点 q 的强度值; $\nabla_x I_q$ 及 $\nabla_y I_q$ 为流线上像素点 q 在 x 和 y 方向的偏导数。

[0074] S_{12} 、局部方向性的度量 D_p 通过下式计算

$$[0075] \quad D_p = \frac{\sum_{q \in N(p)} A_q \cdot \langle \vec{\epsilon}_p, \vec{\epsilon}_q \rangle}{\sum_{q \in N(p)} A_q}$$

[0076] 式中 $\vec{\epsilon}_p, \vec{\epsilon}_q$ 分别为中心像素点 p 和流线上像素点 q 的结构张量矩阵对应的副特征向量, $N(p)$ 为中心像素点 p 所在的邻域, A_q 为流线上像素点 q 点的显著性度量值;向量内积 $\langle \vec{\epsilon}_p, \vec{\epsilon}_q \rangle$ 的取值范围为 $[0, 1]$,它的值会随着两个向量方向的逐渐靠拢而增加。也就是说,如果两个向量的夹角趋近于 0 或 π ,那么它们的内积趋近于 1 ,反之,如果两个向量的夹角趋近于 $\pi/2$,那么内积结果将趋近于 0 。

[0077] S_{13} 、非周期性度量 L_p 通过下式计算

$$[0078] \quad L_p = \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_x I_q \right| + \left| \sum_{q \in N(p)} w_{p,q} \cdot \nabla_y I_q \right|$$

[0079] 式中 $w_{p,q}$ 为权值,通过下式计算

$$[0080] \quad w_{p,q} = \exp\left(-\frac{\|x_p - x_q\| + \|y_p - y_q\|}{2\sigma^2}\right)$$

[0081] 式中 (x_p, y_p) 为中心像素点 p 的坐标; (x_q, y_q) 为流线上像素点 q 的坐标; σ 为高斯函数中的标准差。

[0082] 图2是一个效果图。呈现了显著道路结构模型度量结果,其中图2(a)是输入源图像,图2(b)是结构模型度量结果。

[0083] 在步骤S1获得图像显著结构度量的基础上,进行步骤S2,以实现自适应平滑,具体包括:

[0084] S21、计算平滑程度控制函数 $g(\sigma_d, M)$, $g(\sigma_d, M)$ 为步骤S1获得的道路显著结构度量模型 M_p 的相关函数,用以控制平滑的程度,

$$[0085] \quad g(\sigma_d, M) = \exp\left(-\frac{\left(|\langle \vec{\epsilon}_p \times \vec{\epsilon}_q \rangle| \cdot (M_p - M_q)\right)^2}{2\sigma_d^2}\right)$$

[0086] $g(\sigma_d, M)$ 为高斯核函数, 式中, $\vec{\xi}_p, \vec{\xi}_q$ 分别为中心像素点 p 和流线上像素点的结构张量矩阵对应的副特征向量, σ_d 为 $g(\sigma_d, M)$ 的宽度参数, M 为源图像的道路显著结构度量模型的值, M_p 和 M_q 代表中心像素点 p 和流线上像素点 q 处的道路显著结构度量模型的值, 代表像素点 p, q 属于道路显著结构的置信度, 即像素点属于道路结构区域的概率值。

[0087] S22、结合导向滤波概念与线积分卷积思想, 定义了一个自适应平滑滤波函数 I'_p ,

$$[0088] \quad I'_p = \frac{1}{K} \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \cdot I_q \, dq$$

[0089] 其中, $K = \int_{q \in N(p)} w_{p,q}^g(\sigma_g, I) g(\sigma_d, M) \, dq$ 为 I'_p 的归一化参数, I 为源图像的像素值, I_q 为流线上像素点 q 的像素值, $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 为传统线积分卷积过程中采用的一维低通滤波器的高斯核函数, 通过下式计算,

$$[0090] \quad w_{p,q}^g(\sigma_g, I) = \exp\left(-\frac{|x_p - x_q|^2}{2\sigma_g^2}\right)$$

[0091] 其中, 高斯核函数以像素点间的空间距离作为加权, 即在 $N(p)$ 邻域中, 离中心像素点 p 越近的像素点权值越大, 用于保留类路网结构的流线区域。 x_p 和 x_q 代表着中心像素点 p 与流线上像素点 q 的 x 坐标值, σ_g 是 $w_{p,q}^g(\sigma_g, I)$ 的宽度参数, 控制该函数的径向作用范围。

[0092] 图3是一个效果图, 呈现了本发明所得自适应平滑结果。其中图3(a)是输入源图像, 图3(b)是自适应平滑结果。

[0093] 在步骤S2获得自适应平滑滤波的基础上, 对平滑后的遥感影像进行各向异性冲击滤波增强, 具体包括以下步骤:

[0094] S31、计算控制冲击滤波增强函数 $T(x)$,

$$[0095] \quad T(x) = \frac{(1 + \tanh(\lambda(x - 0.5)))}{2}$$

[0096] 其中 x 为制冲击滤波增强函数输入值, $\tanh(\lambda(x - 0.5))$ 为双曲正切函数; λ 为控制增强程度的因子, 越大的值对应越锐利的边缘;

[0097] S32、建立各向异性冲击滤波增强函数 I_p ,

$$[0098] \quad I_p = T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right) D(I)_p + \left(1 - T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)\right) E(I)_p$$

[0099] 其中, M_p 和 M_q 代表中心像素点 p 和流线上像素点 q 处的道路显著结构度量模型, $D(I)_p, E(I)_p$ 为像素点 p 对应膨胀、腐蚀的值, 函数 $T\left(\frac{1 - M_p \cdot \text{sign}(v_{\eta\eta})}{2}\right)$ 由步骤S31的公式计算, $\text{sign}(v_{\eta\eta})$ 为边缘检测算子的符号函数, 边缘检测算子 $v_{\eta\eta}$ 通过下式计算,

$$[0100] \quad v_{\eta\eta} = c^2 I_{xx} + 2cs I_{xy} + s^2 I_{yy}$$

[0101] 这里 c 和 s 为图像中结构张量场对应主特征向量的两个分量; I_{xx} 为图像沿 x 方向二阶偏导数; I_{yy} 为图像在 y 方向上的二阶偏导数; I_{xy} 为图像在 x 方向和 y 方向上各计算一次一阶偏导数的结果。

[0102] 采用各向异性冲击滤波增强函数 I_p 进行冲击滤波增强的主要目的在于使视觉显著的结构得到更强程度的增强,而对其它区域按照传统方式计算,具体来说,对位于高显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 1$,此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为:

$$[0103] \quad I_p = \begin{cases} E(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} > 0 \text{ 时} \\ D(I)_p, & \text{当 } v_{\eta\eta} < 0 \text{ 时} \\ (D(I)_p + E(I)_p)/2, & \text{其他} \end{cases}$$

[0104] 相反的,对位于低显著性区域的像素, $M_p \rightarrow 0$,此时各向异性冲击滤波增强函数 I_p 变为 $I_p = (D(I)_p + E(I)_p)/2$,增强效果减弱。

[0105] 图4是一个效果图,呈现了本发明所得联合滤波结果与采用协方差矩阵度量方法([1]L.Karacan,E.Erdem,A.Erdem.Structure-preserving image smoothing via region covariances[J].ACM Transactions on Graphics (TOG),2013,32(6):176.)的结果在效果上的对比,其中图(a)是输入源图像,图(b)是采用协方差矩阵度量方法的滤波效果,图(c)是本发明方法所得滤波结果。

[0106] 图5是一个效果图,呈现了本发明所得联合滤波结果应用在相关道路提取算法中的检测效果。相关道路提取算法的文献如下:

[0107] [1]C. Ünsalan,B.Sirmacek.Road network detection using probabilistic and graph theoretical methods[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2012,50(11):4441-4453.

[0108] [2]W.Shi,Z.Miao,J.Debayle.An integrated method for urban main-road centerline extraction from optical remotely sensed imagery[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2014,52(6):3359-3372.

[0109] [3]Y.Zang,C.Wang,L.Cao,Y.Yu,J.Li.Road Network Extraction via Aperiodic Directional Structure Measurement[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2016:1-14.

[0110] 其中图5(a),(c),(e)是分别为文献[1],[2],[3]所述方法的检测结果,图5(b),(d),(f)是结合本发明滤波方法后文献[1],[2],[3]的检测结果,其中黑色粗实线是表示正确检测出的道路;灰色粗实线表示未能检测出的道路;细实线表示错误检测到的道路。相应定量结果如下表所示:

[0111]

Methods	Completeness		Correctness		Quality	
	N	Y	N	Y	N	Y
Ünsalan[1]	0.8991	0.9022	0.7417	0.8898	0.6847	0.8115

[0112]

Shi [2]	0.7904	0.8203	0.8992	0.9524	0.7261	0.7880
Zang [3]	0.8522	0.8790	0.8538	0.9395	0.7437	0.8320

[0113] 如表中所示,“N”表示不使用本发明的滤波方法,“Y”表示使用本发明的滤波方法,“Completeness”,“Correctness”和“Quality”分别表示检测率、正确率和检测质量。从表中可以看出,使用本发明提出的滤波方法后,三种路网检测算法的性能表现得到了显著提升。

[0114] 以上,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

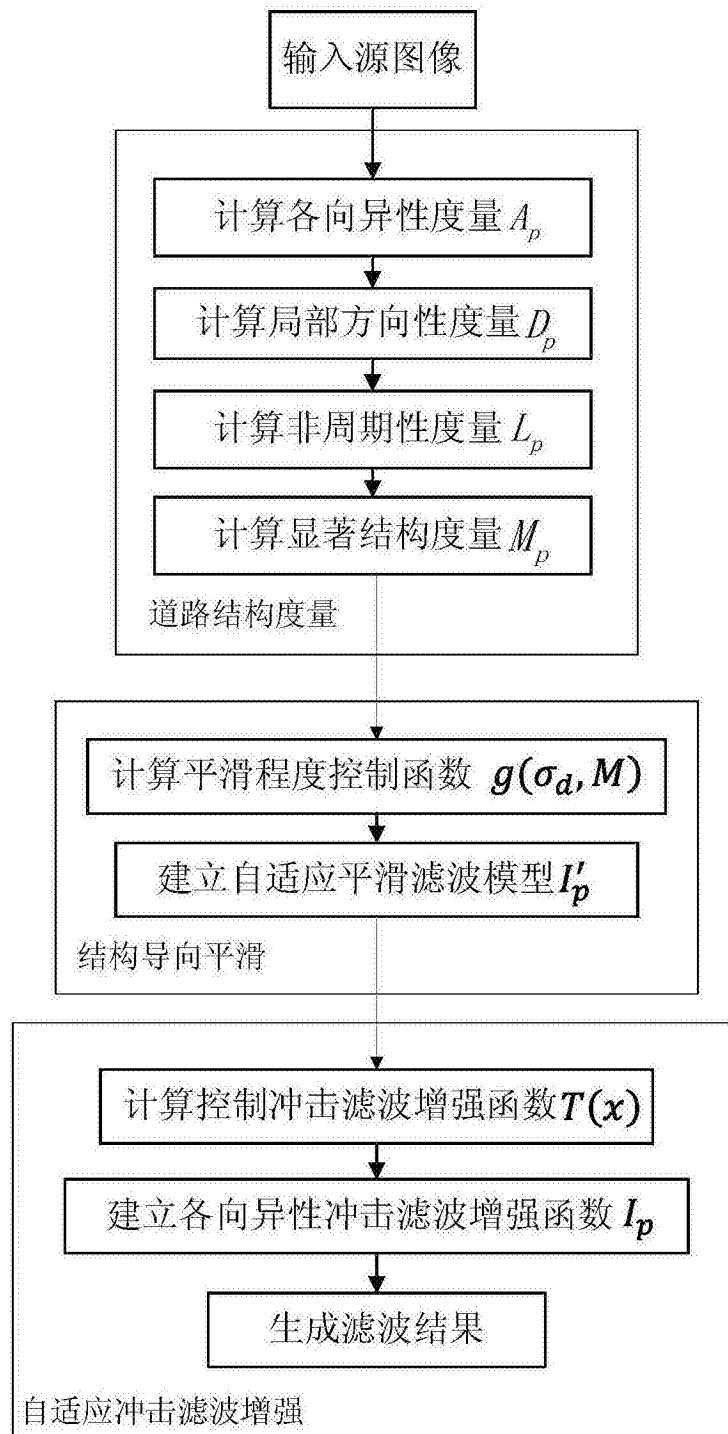


图1

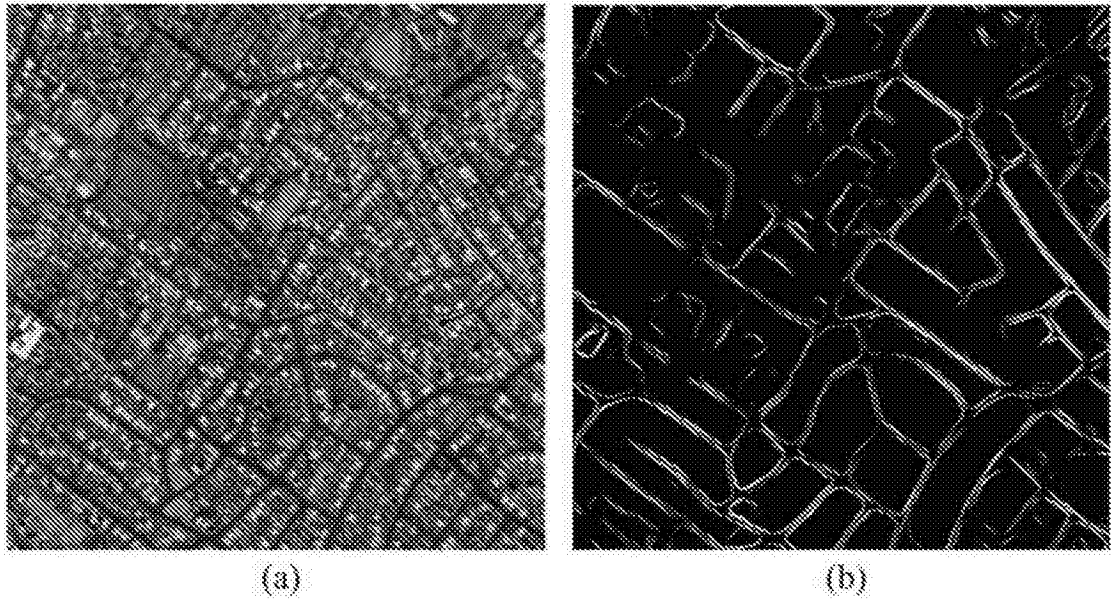


图2

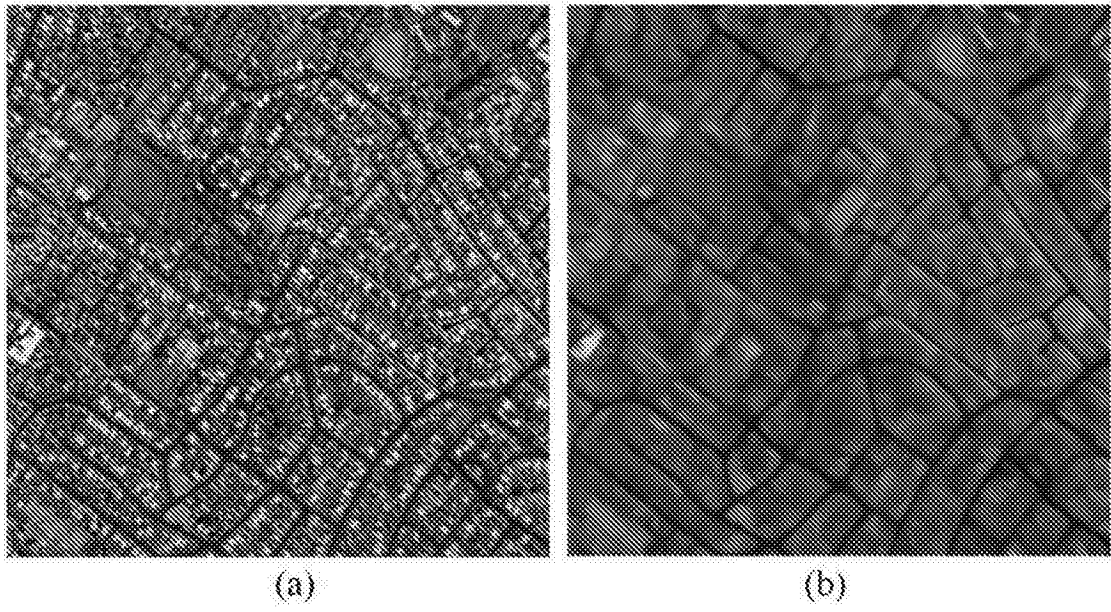
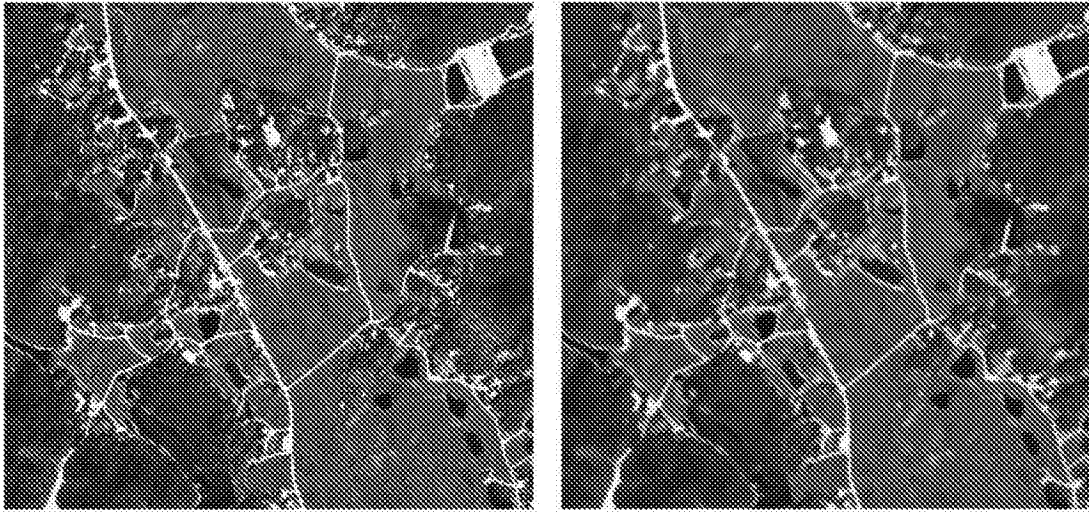
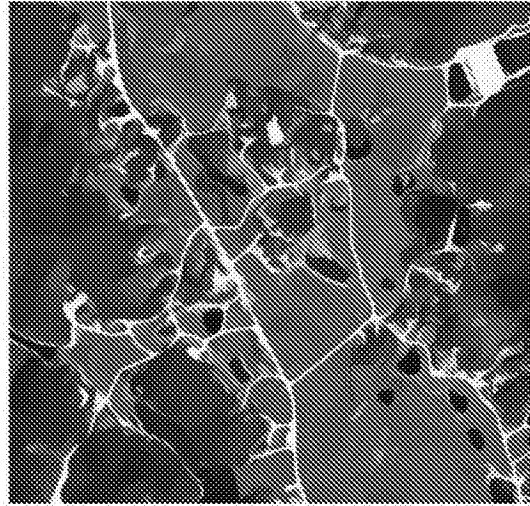


图3



(a)

(b)



(c)

图4

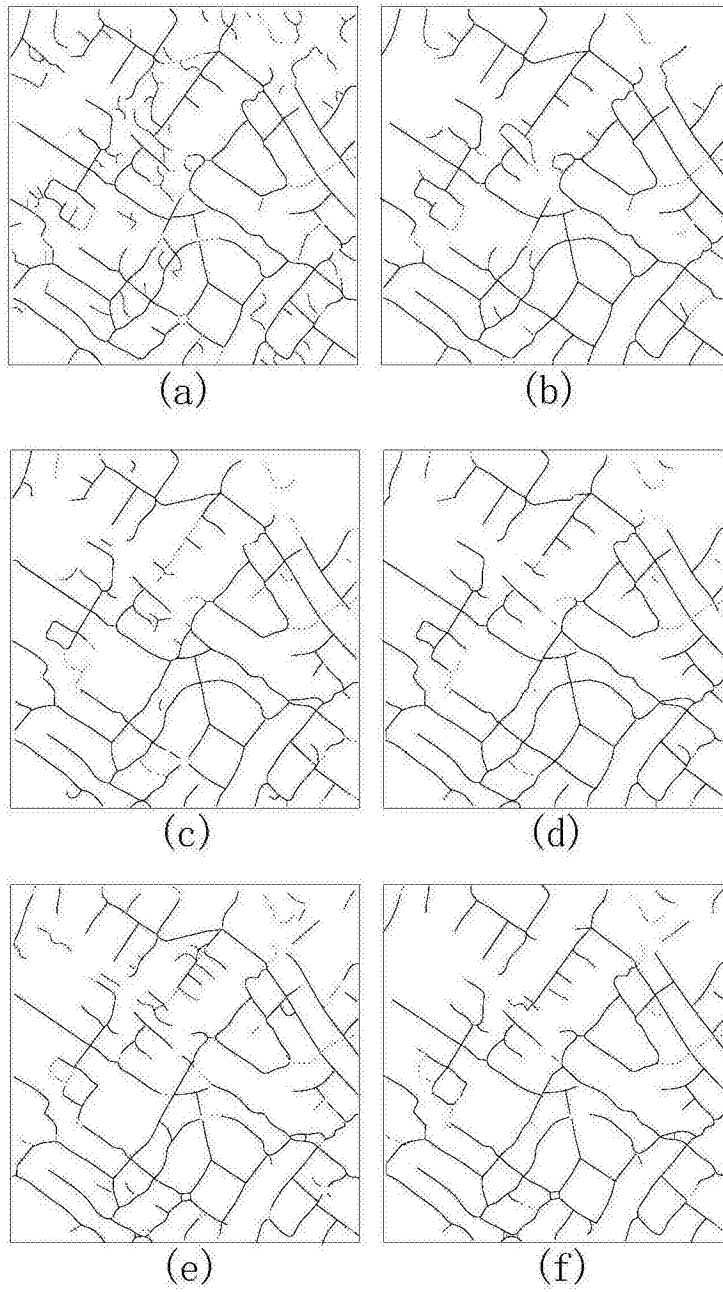


图5