



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106548463 A

(43)申请公布日 2017.03.29

(21)申请号 201610957500.3

(22)申请日 2016.10.28

(71)申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工  
路2号

(72)发明人 王洪玉 刘少丽 王洁 郝应光

(74)专利代理机构 大连理工大学专利中心  
21200

代理人 温福雪 侯明远

(51) Int. Cl.

G06T 5/00(2006.01)

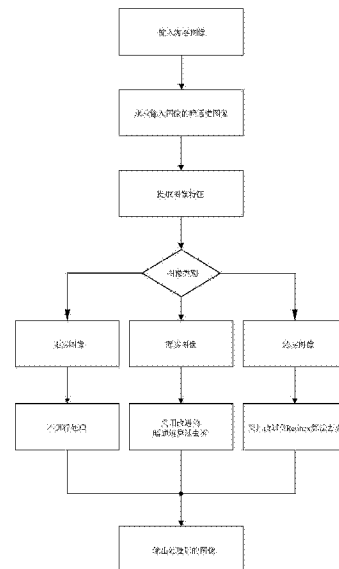
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统,属于图像信息处理技术领域。本发明方法包括如下步骤:(1)求取输入图像的暗通道图像;(2)求取暗通道图像像素值较低的像素点所占的比例,求取输入图像的亮度与对比度特征;(3)根据所求比例及特征将图像进行自动分类;(4)根据待处理图像的类别对图像进行处理。本发明还公开了一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾系统。本发明能够根据图像的属性对图像进行分类,自适应地选择相应的处理方法,极大地提高了海上有雾图像的对比度和清晰度,而且算法的复杂度低、运行速度快,因而能够应用于海上智能交通系统。



1. 一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法,其特征在于,步骤如下:

(1) 求取输入图像的暗通道图像

对海雾图像的RGB三个颜色通道图像分别进行最小值滤波,再选取滤波后的三通道图像中同一位置的像素最小值作为暗通道图的像素值,表达式如下:

$$J^{dark}(x) = \min_{c \in (r, g, b)} \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right) \quad (1-1)$$

其中, I表示海雾图像;  $I^c$ 表示I的某一个颜色通道,  $I^c(y)$ 表示海雾图像当中单个像素点的某一个颜色通道的值;  $\Omega(x)$ 是以像素点x为中心的一个滤波窗口区域;  $J^{dark}$ 为海雾图像I的暗通道图像;

(2) 求取暗通道图像的像素值较低的像素点所占的比例,求取输入海雾图像的亮度与对比度特征

1) 计算暗通道图像的像素值在m至n之间的像素点的比例D;

2) 计算海雾图像上半部分的亮度的平均值L;

3) 将海雾图像进行分块并计算所有子块的对比度:

将海雾图像分成不重叠的子块,计算每个子块的对比度;将子块的对比度定义为子块当中所有像素的RGB三个通道上的方差最大值,表达式如下:

$$V_k = \max(V_{ck}) \quad (1-2)$$

其中:k表示第k个子块,c表示子块的RGB三个通道之一;

4) 分别统计子块的对比度小于p的比例C1及小于q的比例C2;

(3) 根据所求比例D及特征将海雾图像进行自动分类

设定比例阈值 $D_T$ ,亮度阈值 $L_T$ 及对比度阈值 $C1_T$ 和 $C2_T$ ,根据输入海雾图像属性与对应阈值的对比结果,将输入海雾图像自动分类为无雾图像、薄雾图像与浓雾图像:

(a) 当 $D > D_T$ 时,将图像归类为无雾图像;

(b) 当 $C1 < C1_T, L < L_T$ 时,将图像归类为薄雾图像;

(c) 当 $C2 > C2_T, C1 > C1_T, L > L_T$ 时,将图像归类为浓雾图像;

(4) 根据待处理图像的类别对图像进行处理

1) 针对无雾图像,不做处理,直接输出;

2) 针对薄雾图像采用改进的暗通道的方法,暗原色去雾算法是一种典型的基于物理模型的去雾算法,算法是基于经典的大气散射模型,大气散射模型的表达式为:

$$I(x) = J(x) t(x) + A(1-t(x)) \quad (1-3)$$

其中:I(x)是有雾图像,J(x)是无雾图像,t(x)是透射率,描述物体反射光线能够经过衰减到达观测点的比例,A是大气光;

估计透射率,对表达式(1-3)等号两侧进行最小值滤波并除上大气光值A,得到

$$\frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} = t(x) \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right)}{A} + (1-t(x)) \quad (1-4)$$

根据暗原色先验原理无雾图像的暗通道的值 $J^{dark}$ 趋于0,即

$$J^{dark} = \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) \rightarrow 0 \quad (1-5)$$

大气光值A通常大于0,所以表达式(1-4)等号右侧第一项为0,由此得出:

$$t(x) = 1 - \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} \quad (1-6)$$

其中,  $\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)$  表示的是海雾图像的暗通道图像;

3) 根据天空区域的亮度与大气光值A接近的特点,引进弱化因子R对天空区域的透射率进行调整:

$$\tilde{t}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} + t_a, & (|I(x) - A| \leq K) \\ 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A}, & (|I(x) - A| > K) \end{cases} \quad (1-7)$$

其中,  $t_a = \alpha \frac{R_0 - R(x)}{R_0}$  (1-8),  $\omega$  是去雾的控制参数,取值范围为  $[0, 1]$ ,  $\omega$  的值越大,去雾

效果越明显,K和 $\alpha$ 是可调系数,根据图像合理选择可以保证透射率取得合理值;

经过上述步骤得到的复原图像表达式为:

$$J^c(x) = \frac{I^c(x) - A}{\max(\tilde{t}(x), t_0)} + A \quad (1-9)$$

设置 $t_0$ 可以防止透射率过小造成图像失真;

4) 经过暗通道处理后的图像通常整体偏暗,因此采用伽马变换的方法对去雾后的图像进行处理;伽马变换的表达式为:

$$s = cr^\gamma \quad (1-10)$$

伽马变换可以很好地拉伸图像的对比度,扩展灰度级,不同的参数设置可以达到不同的效果;设置 $\gamma < 1$ ,使图像增亮;设置 $\gamma > 1$ ,使图像变暗,提高图像的对比度,凸显细节;

5) 针对浓雾图像采用带色彩恢复的多尺度Retinex与限制对比度自适应直方图均衡化相结合的方法

物体的颜色是由物体对长波、中波和短波光线的反射能力决定的,物体的色彩不受光照非均匀的影响,具有一致性;根据Retinex理论,一幅图像分为亮度图像和反射图像两部分,通过降低亮度图像对反射图像的影响即达到增强图像的目的,其数学表达式为:

$$I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (1-11)$$

其中,  $I(x, y)$  代表待增强的图像,  $L(x, y)$  代表环境光的照射分量,  $R(x, y)$  表示反射分量即增强后的图像;将上式两边取对数并移项得出:

$$\log[R(x, y)] = \log[I(x, y)] - \log[L(x, y)] \quad (1-12)$$

基于Retinex理论,采用MSRCR算法,即带色彩恢复的多尺度视网膜增强算法,算法主要包括以下步骤:

- (1) 设置三个尺度的高斯模糊半径;
- (2) 计算海雾图像按照上述三个尺度模糊后的图像 $L(x, y)$ ;
- (3) 按照式(1-12)计算三个尺度的 $\log[R(x, y)]$ 的值;

- (4) 将三个尺度的 $\log [R(x, y)]$ 按照权重进行累加;
- (5) 将结果图像的像素值映射到0到255;
- (6) 进行色彩恢复;

CLAHE算法,算法主要包括以下步骤:

- (1) 对海雾图像进行分块;
- (2) 计算每个小块的直方图;
- (3) 按照设定的裁剪阈值裁剪每个小块的直方图;
- (4) 将裁剪掉的部分均匀分布到直方图的其他部分;
- (5) 对每个小块进行直方图均衡化

经过上述处理后,图像的对比度得到增强,但是图像整体偏暗,层次不分明,因此采用自动对比度算法对去雾后的图像进行进一步的处理。

## 基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于图像信息处理技术领域,特别是涉及基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统。

### 背景技术

[0002] 海洋约占地球表面积的71%,海洋是诸多资源的宝库。近年来,随着陆地开发空间和资源的减少,人类已经将探索和开发的目标从陆地进一步延伸拓展到海洋,因此,海洋安全问题变得尤为重要。由于海洋环境的特殊性,通常是采用监控的方式加强对海洋安全的监督管理,渔船舰艇等海洋航行设备上安装的摄像头可以及时有效地观测海面情况,对人员及设备的安全有极其重要的意义。

[0003] 由于海面水汽大,因而会经常出现大面积的雾。海雾是一种极为危险的天气现象,海雾的存在会严重影响摄像头等监控系统的工作和海上航行系统的安全运行。因而研究和设计一种海雾下图像增强的方法及系统具有重大意义。

[0004] 目前的去雾方法大多数是针对陆地有雾图像,针对海上有雾图像的算法很少。针对陆地有雾图像的去雾方法主要分为两类:一类是基于图像增强的方法,主要有基于直方图的方法,基于多尺度的方法和基于Retinex的方法等等;第二类是基于物理模型的方法,这种方法主要是利用了大气散射模型从有雾图像恢复出清晰图像。由于海上水汽大,因而海雾图像的雾的浓度一般比较大;海上图像当中天空区域和海面区域往往占据很大的比重,图像当中的目标和细节信息较少,海上图像的这两个特点增加了海雾图像的去雾难度。

[0005] 论文名:Visibility in bad weather from a single image,会议:Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR),年份:2009年。He Kaiming等人提出了一种基于暗通道先验的去雾方法,该算法利用最小值滤波估算出透射率并利用软抠图的方法对估算的透射率进行优化,然后估计大气光值A,最后结合大气散射模型进行去雾,通常能够取得较好的去雾效果,但是,暗通道算法在处理含有大面积天空的图像时会产生噪声放大与颜色失真现象。

[0006] 王孝通等人在论文《大气散射模型的海上视频图像去雾技术》(载于期刊《中国航海》,2013,v.36;No.9401:13-17.)中对传统的暗通道方法进行了改进,引入控制参数,对天空和海面等明亮区域的透射率进行修正,避免了图像的色彩失真。并且,根据海域旷阔的特点,推导了单目视觉的视频图像景深分布模型,结合大气散射模型,提出了基于单幅视频图像景深的去雾算法,但是景深模型的参数较多且难以获得,因而无法准确估计图像的景深。

[0007] 马忠丽等人在论文《海雾下的视频图像去雾算法研究》(载于期刊《计算机应用研究》,2014,v.31;No.27509:2836-2840.)中改进了大气光值A的估计,具体的,首先进行海天线的提取,然后将位于海天线以上的天空区域的亮度的最大值作为全局大气光值A的估计。海天线的提取可以保证得到较为准确的天空区域从而得到准确的大气光值,但是亮度的最大值往往接近255,因此容易导致去雾后图像整体偏暗。

[0008] 夏桂林等人在论文《一种改进的海上目标高效去雾算法》(载于《大连海事大学学

报》,2014,v.40;No.15904:85-88.)中首先对大气光值A的估计进行了改进,由于天空区域最有可能位于图像顶部,因此论文查找图像的灰度图像顶部1/5当中前1%最亮的像素点,将前1%最亮的像素点对应的原图像当中点的RGB三通道的平均值作为全局大气光A的估计,但是图像顶部的1/5不一定全部是天空区域,算法的鲁棒性不强。

## 发明内容

[0009] 基于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统。能够根据图像的属性对图像进行分类,自适应地选择合适的处理方法,可以快速地获得较为清晰图像。

[0010] 一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法,步骤如下:

[0011] (1) 求取输入图像的暗通道图像

[0012] 对海雾图像的RGB三个颜色通道图像分别进行最小值滤波,再选取滤波后的三通道图像中同一位置的像素最小值作为暗通道图的像素值,表达式如下:

$$[0013] \quad J^{dark}(x) = \min_{c \in (r, g, b)} \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right) \quad (1-1)$$

[0014] 其中,I表示海雾图像; $I^c$ 表示I的某一个颜色通道, $I^c(y)$ 表示海雾图像当中单个像素点的某一个颜色通道的值; $\Omega(x)$ 是以像素点x为中心的一个滤波窗口区域; $J^{dark}$ 为海雾图像I的暗通道图像;

[0015] (2) 求取暗通道图像的像素值较低的像素点所占的比例,求取输入海雾图像的亮度与对比度特征

[0016] 1) 计算暗通道图的像素值在m至n之间的像素点的比例D;

[0017] 2) 计算海雾图像上半部分的亮度的平均值L;

[0018] 3) 将海雾图像进行分块并计算所有子块的对比度:

[0019] 将海雾图像分成不重叠的子块,计算每个子块的对比度;将子块的对比度定义为子块当中所有像素的RGB三个通道上的方差最大值,表达式如下:

$$[0020] \quad V_k = \max (V_{ck}) \quad (1-2)$$

[0021] 其中:k表示第k个子块,c表示子块的RGB三个通道之一;

[0022] 4) 分别统计子块的对比度小于p的比例C1及小于q的比例C2;

[0023] (3) 根据所求比例D及特征将海雾图像进行自动分类

[0024] 设定比例阈值D<sub>T</sub>,亮度阈值L<sub>T</sub>及对比度阈值C1<sub>T</sub>和C2<sub>T</sub>,根据输入海雾图像属性与对应阈值的对比结果,将输入海雾图像自动分类为无雾图像、薄雾图像与浓雾图像:

[0025] (a) 当D>D<sub>T</sub>时,将图像归类为无雾图像;

[0026] (b) 当C1<C1<sub>T</sub>,L<L<sub>T</sub>时,将图像归类为薄雾图像;

[0027] (c) 当C2>C2<sub>T</sub>,C1>C1<sub>T</sub>,L>L<sub>T</sub>时,将图像归类为浓雾图像。

[0028] (4) 根据待处理图像类别对图像进行处理

[0029] 1) 针对无雾图像,不做处理,直接输出;

[0030] 2) 针对薄雾图像采用改进的暗通道的方法,暗原色去雾算法是一种典型的基于物理模型的去雾算法,算法是基于经典的大气散射模型,大气散射模型的表达式为:

$$[0031] \quad I(x) = J(x) t(x) + A(1-t(x)) \quad (1-3)$$

[0032] 其中： $I(x)$  是有雾图像， $J(x)$  是无雾图像， $t(x)$  是透射率，描述物体反射光线能够经过衰减到达观测点的比例， $A$  是大气光（包括直射的阳光、天空漫射的光线和地面反射的光线等）；

[0033] 暗原色先验原理：在室外无雾图像的非天空区域的一个小区域中，某些像素点处的RGB三通道中至少有一个颜色通道具有极低的值。为了得到复原图像 $J$ ，需要估计大气光值 $A$ ，海上图像天空区域面积比较大，采用传统的暗通道算法估计得到的大气光值不准确，本发明对此进行了改进，根据天空区域平坦，梯度小的特点对天空区域进行分割，首先对图像进行平滑处理，然后采用Canny边缘检测算子检测图像当中的边缘，最后采用形态学的膨胀腐蚀操作得到大致的天空区域。海雾图像通常是由海面、物体和天空三部分组成，天空区域通常是位于图像的顶部，因此计算图像上半部分一定比例 $\alpha$ 且判定为天空区域的像素的暗通道的值，然后计算暗通道图像中像素值前0.1%的像素点的位置，并选取这些点在有雾图像的灰度图像当中对应位置的像素最大值作为整幅图像的大气光强 $A$ 的估计。

[0034] 估计透射率，对表达式(1-3)等号两侧进行最小值滤波并除上大气光值 $A$ ，得到

$$[0035] \quad \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} = t(x) \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right)}{A} + (1-t(x)) \quad (1-4)$$

[0036] 根据暗原色先验原理无雾图像的暗通道的值 $J^{\text{dark}}$ 趋于0，即

$$[0037] \quad J^{\text{dark}} = \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) \rightarrow 0 \quad (1-5)$$

[0038] 大气光值 $A$ 通常大于0，所以表达式(1-4)等号右侧第一项为0，由此可

[0039] 得：

$$[0040] \quad t(x) = 1 - \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} \quad (1-6)$$

[0041] 其中， $\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)$ 表示的是海雾图像的暗通道图像；

[0042] 3) 由于海雾图像当中通常存在大面积的天空，采用传统的暗通道算法进行去雾时会导致天空区域的色彩失真，噪声放大等问题，根据天空区域的亮度与大气光值 $A$ 接近的特点，引进了弱化因子 $R$ 对天空区域的透射率进行调整：

$$[0043] \quad \tilde{t}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} + t_a, & (|I(x) - A| \leq K) \\ 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A}, & (|I(x) - A| > K) \end{cases} \quad (1-7)$$

[0044] 其中， $t_a = \alpha \frac{R_0 - R(x)}{R_0}$  (1-8)， $\omega$  是去雾的控制参数，取值范围为 $[0, 1]$ ， $\omega$  的值越大，

去雾效果越明显， $K$ 和 $\alpha$ 是可调系数，根据图像合理选择可以保证透射率取得合理值。

[0045] 经过上述步骤得到的复原图像表达式为：

$$[0046] \quad J^c(x) = \frac{I^c(x) - A}{\max(\tilde{I}(x), t_0)} + A \quad (1-9)$$

[0047] 设置 $t_0$ 可以防止透射率过小造成图像失真;

[0048] 4) 经过暗通道处理后的图像通常整体偏暗, 因此采用伽马变换的方法对去雾后的图像进行处理。伽马变换的表达式为:

$$[0049] \quad s = cr^\gamma \quad (1-10)$$

[0050] 伽马变换可以很好地拉伸图像的对比度, 扩展灰度级, 不同的参数设置可以达到不同的效果。设置 $\gamma < 1$ , 可以使图像增亮; 设置 $\gamma > 1$ , 可以使图像变暗, 提高图像的对比度, 凸显细节。

[0051] 5) 针对浓雾图像采用带色彩恢复的多尺度Retinex (MSRCR) 与限制对比度自适应直方图均衡化 (CLAHE) 相结合的方法

[0052] MSRCR算法是基于Retinex理论, Retinex理论主要包含两个方面的内容: 物体的颜色是由物体对长波、中波和短波光线的反射能力决定的; 物体的色彩不受光照非均匀的影响, 具有一致性。根据Retinex理论一幅图像可以分为亮度图像和反射图像两部分, 通过降低亮度图像对反射图像的影响即可达到增强图像的目的。其数学表达式为:

$$[0053] \quad I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (1-11)$$

[0054] 上式当中,  $I(x, y)$  代表待增强的图像,  $L(x, y)$  代表环境光的照射分量,  $R(x, y)$  表示反射分量即增强后的图像。将上式两边取对数并移项可得:

$$[0055] \quad \log[R(x, y)] = \log[I(x, y)] - \log[L(x, y)] \quad (1-12)$$

[0056] 基于Retinex理论先后发展出多种Retinex算法如单尺度Retinex, 多尺度Retinex等等, 这些算法实质都是通过对原图像进行某种高斯平滑来提取亮度图像, 并且通过复杂的计算使提取的亮度图像尽量准确, 其中目前广泛采用的是MSRCR算法, 即带色彩恢复的多尺度视网膜增强算法, 算法主要包括以下步骤:

[0057] (1) 设置三个尺度的高斯模糊半径。

[0058] (2) 计算海雾图像按照上述三个尺度模糊后的图像 $L(x, y)$ 。

[0059] (3) 按照式 (1-12) 计算三个尺度的 $\log[R(x, y)]$ 的值。

[0060] (4) 将三个尺度的 $\log[R(x, y)]$ 按照权重进行累加。

[0061] (5) 将结果图像的像素值映射到0到255。

[0062] (6) 进行色彩恢复。

[0063] CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) 算法

[0064] 直方图均衡化是图像增强当中广泛采用的一种算法, 普通的直方图均衡算法对于整幅图像使用相同变换, 当图像的像素值分布比较均匀时算法的效果较好, 但是当图像存在过亮或者过暗的区域时无法得到满意的结果。海雾图像存在大面积的海面和天空, 这些区域的亮度通常比较大, 直接采用直方图均衡化的方法对去雾后的图像进行增强得不到满意的结果, 因此本发明采用CLAHE算法, 算法主要包括以下步骤:

[0065] (1) 对海雾图像进行分块。

[0066] (2) 计算每个小块的直方图。

[0067] (3) 按照设定的裁剪阈值裁剪每个小块的直方图。

[0068] (4) 将裁剪掉的部分均匀分布到直方图的其他部分。



[0069] (5) 对每个小块进行直方图均衡化。

[0070] 经过上述处理后,图像的对比度得到增强,但是图像整体偏暗,层次不分明,因此采用自动对比度算法对去雾后的图像进行进一步的处理。

[0071] 一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾系统,包括

[0072] (1) 暗通道计算单元,用于求取输入图像的暗通道图像;

[0073] (2) 图像特征提取单元,用于求取暗通道图像像素值较低的像素点所占的比例,求取输入图像的亮度与对比度特征;

[0074] (3) 分类单元,用于根据图像特征提取单元所提取的输入图像特征与设定的阈值的对比结果将输入图像自动分类为无雾图像、薄雾图像与浓雾图像;

[0075] (4) 处理单元,用于根据所述分类单元得到的输入图像类别对图像进行处理;

[0076] 所述暗通道计算单元,具体用于:

[0077] 求取海雾图像的暗通道图,即对海雾图像的RGB三个颜色通道图像分别进行最小值滤波,再选取滤波后的三通道图像中同一个位置的像素最小值作为暗通道图的像素值。具体表达式如下:

$$[0078] \quad J^{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right) \quad (2-1)$$

[0079] 其中:I表示海雾图像, $I^c$ 表示I的某一个颜色通道, $I^c(y)$ 表示图像当中单个像素点的某一个颜色通道的值, $\Omega(x)$ 是以像素点x为中心的一个滤波窗口区域, $J^{dark}$ 为海雾图像I的暗通道图;

[0080] 所述图像特征提取单元,具体用于:

[0081] 1) 计算暗通道图像像素值在m至n之间的像素点的比例D。

[0082] 2) 计算图像上半部分的亮度的平均值L。

[0083] 3) 将图像进行分块并计算所有块的对比度:

[0084] 将图像分成不重叠的子块,计算每个子块的对比度,图像块的对比度定义为图像块当中所有像素的RGB三个通道上的方差最大值,表达式如下:

$$[0085] \quad V_k = \max (V_{ck}) \quad (2-2)$$

[0086] 表达式当中,k表示第k个图像块,c表示图像块的RGB三个通道之一。

[0087] 4) 分别统计图像块的对比度小于p的比例C1及小于q的比例C2。

[0088] 所述分类单元,具体用于:

[0089] 设定比例阈值D\_T,亮度阈值L\_T及对比度阈值C1\_T和C2\_T,根据输入图像属性与上述对应阈值的比较结果将输入图像自动分类为无雾图像、薄雾图像与浓雾图像:

[0090] (a) 当 $D > D_T$ 时,将图像归类为无雾图像;

[0091] (b) 当 $C1 < C1_T, L < L_T$ 时,将图像归类为薄雾图像;

[0092] (c) 当 $C2 > C2_T, C1 > C1_T, L > L_T$ 时,将图像归类为浓雾图像。

[0093] 所述处理单元,具体用于:

[0094] 1) 针对无雾图像,不做处理,直接输出;

[0095] 2) 针对薄雾图像采用改进的暗通道的方法,暗原色去雾算法是一种典型的基于物理模型的去雾算法,算法是基于经典的大气散射模型,大气散射模型的表达式为:

$$[0096] \quad I(x) = J(x) t(x) + A(1-t(x)) \quad (2-3)$$

[0097] 其中 $I(x)$ 是有雾图像, $J(x)$ 是无雾清晰图像, $t(x)$ 是透射率,描述物体反射光线能够经过衰减到达观测点的比例, $A$ 是大气光(包括直射的阳光、天空漫射的光线和地面反射的光线等)。

[0098] 暗原色先验原理:在室外无雾图像的非天空区域的一个小区域中,某些像素点处的RGB三通道中至少有一个颜色通道具有极低的值。为了得到复原图像 $J$ ,需要估计大气光值 $A$ ,海上图像天空区域面积比较大,采用传统的暗通道算法估计得到的大气光值不准确,本发明对此进行了改进,根据天空区域平坦,梯度小的特点对天空区域进行分割,首先对图像进行平滑处理,然后采用Canny边缘检测算子检测图像当中的边缘,最后进行形态学的膨胀腐蚀操作得到大致的天空区域。海雾图像通常是由海面、物体和天空三部分组成,天空区域通常是位于图像的顶部,因此计算图像上半部分一定比例 $\alpha$ 且判定为天空区域的像素的暗通道的值,然后计算暗通道图像像素值前0.1%的像素点的位置,并选取这些点在有雾图像的灰度图像当中对应位置的像素最大值作为整幅图像的大气光强 $A$ 的估计。

[0099] 估计透射率,对表达式(1-3)等号两侧进行最小值滤波并除上大气光值 $A$ ,得到

$$[0100] \quad \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} = t(x) \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right)}{A} + (1-t(x)) \quad (2-4)$$

[0101] 根据暗原色先验原理无雾图像的暗通道的值 $J^{\text{dark}}$ 趋于0即

$$[0102] \quad J^{\text{dark}} = \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) \rightarrow 0 \quad (2-5)$$

[0103] 大气光值 $A$ 通常大于0,所以表达式(2-4)右侧第一项为0,由此可得:

$$[0104] \quad t(x) = 1 - \frac{\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} \quad (2-6)$$

[0105] 表达式当中, $\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)$ 表示的是海雾图像的暗通道图像。

[0106] 3) 由于海雾图像当中存在大面积的天空,采用传统的暗通道算法进行去雾时会导致天空区域的色彩失真,噪声放大等问题,根据天空区域的亮度与大气光值 $A$ 接近的特点,引进了弱化因子 $R$ 对天空区域的透射率进行调整:

$$[0107] \quad \tilde{t}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A} + t_a, & (|I(x) - A| \leq K) \\ 1 - \frac{\omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right)}{A}, & (|I(x) - A| > K) \end{cases} \quad (2-7)$$

$$[0108] \quad \text{其中}, t_a = \alpha \frac{R_0 - R(x)}{R_0} \quad (2-8)$$

[0109]  $\omega$ 是去雾的控制参数,取值范围为 $[0, 1]$ , $\omega$ 的值越大,去雾效果越明显。 $K$ 和 $\alpha$ 是可调系数,根据图像合理选择可以保证透射率取得合理值。

[0110] 经过上述步骤得到的复原图像表达式为:

$$[0111] \quad J^c(x) = \frac{I^c(x) - A}{\max(\tilde{t}(x), t_0)} + A \quad (2-9)$$

[0112] 设置 $t_0$ 可以防止透射率过小造成图像失真;

[0113] 4) 经过暗通道处理后的图像通常整体偏暗,因此采用伽马变换的方法对去雾后的图像进行处理。伽马变换的表达式为:

$$[0114] \quad s = cr^\gamma \quad (2-10)$$

[0115] 伽马变换可以很好地拉伸图像的对比度,扩展灰度级,不同的参数设置可以达到不同的效果。设置 $\gamma < 1$ ,可以使图像增亮;设置 $\gamma > 1$ ,可以使图像变暗,提高图像的对比度,凸显细节。

[0116] 5) 针对浓雾图像采用带色彩恢复的多尺度Retinex (MSRCR) 与限制对比度自适应直方图均衡化 (CLAHE) 相结合的方法

[0117] MSRCR算法主要是基于Retinex理论的,Retinex理论主要包含两个方面的内容:物体的颜色是由物体对长波、中波和短波光线的反射能力决定的;物体的色彩不受光照非均匀的影响,具有一致性。根据Retinex理论一幅图像可以分为亮度图像和反射图像两部分,通过降低亮度图像对反射图像的影响即可达到增强图像的目的。其数学表达式为:

$$[0118] \quad I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (2-11)$$

[0119] 上式当中, $I(x, y)$ 代表待增强的图像, $L(x, y)$ 代表环境光的照射分量, $R(x, y)$ 表示反射分量即增强后的图像。将上式两边取对数并移项得:

$$[0120] \quad \log[R(x, y)] = \log[I(x, y)] - \log[L(x, y)] \quad (2-12)$$

[0121] 基于Retinex理论先后发展出多种Retinex算法如单尺度Retinex,多尺度Retinex等等,这些算法实质都是通过对原图像进行某种高斯平滑来提取亮度图像,并且通过复杂的计算使提取的亮度图像尽量准确,其中目前广泛采用的是MSRCR算法,即带色彩恢复的多尺度视网膜增强算法,算法主要包括以下步骤:

[0122] (1) 设置三个尺度的高斯模糊半径。

[0123] (2) 计算海雾图像按照上述三个尺度模糊后的图像 $L(x, y)$ 。

[0124] (3) 按照式(2-12)计算三个尺度的 $\log[R(x, y)]$ 的值。

[0125] (4) 将三个尺度的 $\log[R(x, y)]$ 按照权重进行累加。

[0126] (5) 将结果图像的像素值映射到0到255。

[0127] (6) 进行色彩恢复。

[0128] CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) 算法

[0129] 直方图均衡化是图像增强当中广泛采用的一种算法,普通的直方图均衡算法对于整幅图像使用相同变换,当图像的像素值分布比较均匀时算法的效果较好,但是当图像存在过亮或者过暗的区域时将得不到满意的结果。海雾图像存在大面积的海面和天空,这些区域的亮度通常比较大,直接采用直方图均衡化的方法对去雾后的图像进行增强得不到满意的结果,因此本发明采用CLAHE的算法,算法主要包括以下步骤:

[0130] (1) 对图像进行分块。

[0131] (2) 计算每个小块的直方图。

[0132] (3) 按照设定的裁剪阈值裁剪每个小块的直方图。

[0133] (4) 将裁剪的部分均匀分布到直方图的其他部分。

[0134] (5) 对每个小块进行直方图均衡化。

[0135] 经过上述处理后,图像的对比度得到增强,但是图像整体偏暗,层次不分明,因此采用自动对比度算法对去雾后的图像进行进一步的处理。

[0136] 本发明的有益效果:

[0137] (1) 能够通过提取输入图像的特征对图像进行自动分类,且分类的准确度高,有利于后续选择合适的算法进行去雾。

[0138] (2) 通过对输入图像进行分类,并对不同类型的图像选用不同的算法进行处理,从而避免了单一处理方式去雾效果不佳的问题。

[0139] (3) 针对海上图像的特点,对传统的去雾算法进行了改进,极大地提高了海上有雾图像的对比度和清晰度,而且算法的复杂度低、运行速度快,能够很好地应用于海雾图像增强系统。

## 附图说明

[0140] 图1为本发明基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法的流程示意图。

[0141] 图2为天空区域分割流程示意图。

[0142] 图3为海雾图像及去雾后的图像。

[0143] 其中,(a)为海上薄雾图像;(b)为(a)经过去雾处理后的图像;(c)为海上浓雾图像;(d)为(c)经过去雾处理后的图像。

[0144] 图4为本发明基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾系统的组成示意图。

## 具体实施方式

[0145] 以下结合附图和技术方案,进一步说明本发明的具体实施方式。

[0146] 图1为本发明去雾方法的流程示意图,包括:

[0147] (1) 求出雾化图像(见附图3(a)所示)的暗通道图像,滤波模板大小为 $15 \times 15$ 。

[0148] (2) 求取输入图像3(a)与分类相关的特征,其中 $m=1, n=80, p=10, q=20$ 。

[0149] 1) 计算得到D的值为0.068。

[0150] 2) 计算得到L的值为188.12。

[0151] 3) 将图像分成 $192 \times 108$ 个小块,计算每个块的对比度。

[0152] 4) 统计得到对比度小于10的比例 $C1$ 为0.55,小于20的比例为0.85。

[0153] (3) 根据所提取特征将输入图像自动分类。

[0154] 具体实施中将比例阈值 $D\_T$ 设置为80%,将亮度阈值 $L\_T$ 设置为200,将对比度阈值 $C1\_T$ 和 $C2\_T$ 分别设置为60%和90%。

[0155] (a) 当 $D > D\_T$ 时,将图像归类为无雾图像,直接输出;

[0156] (b) 当 $C1 < C1\_T, L < L\_T$ 时,将图像归类为薄雾图像;

[0157] (c) 当 $C2 > C2\_T, C1 > C1\_T, L > L\_T$ 时,将图像归类为浓雾图像。

[0158] 图3(a)满足条件(b)所以将图像归类为薄雾图像。

[0159] (4) 按照图像所属类别进行去雾增强。

[0160] 1) 图3(a)被自动分类为薄雾图像,因此采用改进的暗通道的方法进行去雾,具体实施中将 $\alpha$ 设置为 $1/5$ ,首先估计图像的大气光值A,具体的,先对图像进行天空区域分割,天

空分割的流程见附图2,然后计算图像上半部分1/5且判定为天空区域的像素的暗通道的值,最后计算暗通道图像当中前0.1%的像素点,并选取这些点在原始有雾图像的灰度图像当中对应的最大值作为整幅图像的大气光强A的估计,得到A的估计值为203。

[0161] 2) 接下来进行透射率的估计。求取有雾图像的暗通道图像(滤波模板大小为 $15 \times 15$ )并与大气光值A相除得到透射率的粗略估计。

[0162] 3) 对天空区域的透射率按照式(1-8)进行调整,其中,K设置为80, $\alpha$ 设置为0.2,然后按照式(1-10)得到初步的复原图像,其中, $t_0$ 设置为0.1,在现实生活中即使是晴天,远处的景物还是会受到雾的影响,因此将 $\omega$ 设置为0.95。

[0163] 4) 经过暗通道处理后的图像通常整体偏暗,因此采用伽马变换的方法对去雾后的图像进行处理,参数c设置为1, $\gamma$ 设置为0.50,最终得到去雾后的图像为图3(b)。

[0164] 按照上述过程将图3(c)输入,计算图像特征,图像被自动归类为浓雾图像,进行相应的处理得到去雾后的图像为图3(d)。

[0165] 图4为本发明去雾系统的组成示意图,包括:

[0166] (1) 暗通道计算单元,用于求取雾化图像(见附图3(a)所示)的暗通道图像,滤波模板大小为 $15 \times 15$ 。

[0167] (2) 图像特征提取单元,用于求取输入图像3(a)及由暗通道计算单元计算得到的暗通道图像当中与分类相关的特征,其中 $m=1, n=80, p=10, q=20$ ,具体的:

[0168] 1) 计算得到D的值为0.068。

[0169] 2) 计算得到L的值为188.12。

[0170] 3) 将图像分成 $192 \times 108$ 个小块,计算每个块的对比度。

[0171] 4) 统计得到对比度小于10的比例C1为0.55,小于20的比例为0.85。

[0172] (3) 分类单元,用于根据所提取特征将输入图像自动分类,具体的:

[0173] 具体实施中将比例阈值D\_T设置为80%,将亮度阈值L\_T设置为200,将对比度阈值C1\_T和C2\_T分别设置为60%和90%。

[0174] (a) 当 $D > D_T$ 时,将图像归类为无雾图像,直接输出;

[0175] (b) 当 $C1 < C1_T, L < L_T$ 时,将图像归类为薄雾图像;

[0176] (c) 当 $C2 > C2_T, C1 > C1_T, L > L_T$ 时,将图像归类为浓雾图像。

[0177] 图3(a)满足条件(b)所以将图像归类为薄雾图像。

[0178] (4) 处理单元,用于按照图像所属类别进行去雾增强,具体的:

[0179] 1) 图3(a)被自动分类为薄雾图像,因此采用改进的暗通道的方法进行去雾,具体实施中将 $\alpha$ 设置为1/5,首先估计图像的大气光值A,具体的,先对图像进行天空区域分割,天空分割的流程见附图2,然后计算图像上半部分的1/5且判定为天空区域的像素的暗通道的值,最后计算暗通道图像当中前0.1%的像素点,并选取这些点在原始有雾图像的灰度图像当中对应的最大值作为整幅图像的大气光强A的估计,得到A的估计值为203。

[0180] 2) 接下来进行透射率的估计。求取有雾图像的暗通道图像(滤波模板大小为 $15 \times 15$ )并与大气光值A相除得到透射率的粗略估计。

[0181] 3) 对天空区域的透射率按照式(2-8)进行调整,其中,K设置为80, $\alpha$ 设置为0.2,然后按照式(2-10)得到初步的复原图像,其中, $t_0$ 设置为0.1,在现实生活中即使是晴天,远处的景物还是会受到雾的影响,因此将 $\omega$ 设置为0.95。

[0182] 4) 经过暗通道处理后的图像通常整体偏暗,因此采用伽马变换的方法对去雾后的图像进行处理,参数 $c$ 设置为1,  $\gamma$  设置为0.50,最终得到去雾后的图像为图3(b)。

[0183] 总的来说,本发明设计了一种基于暗通道与Retinex的海雾图像自动去雾方法及系统,对比图3(b)和图3(d)可以看出,本发明能够有效提高海雾图像的能见度和对比度,因此,本发明能够应用于海上智能交通系统。

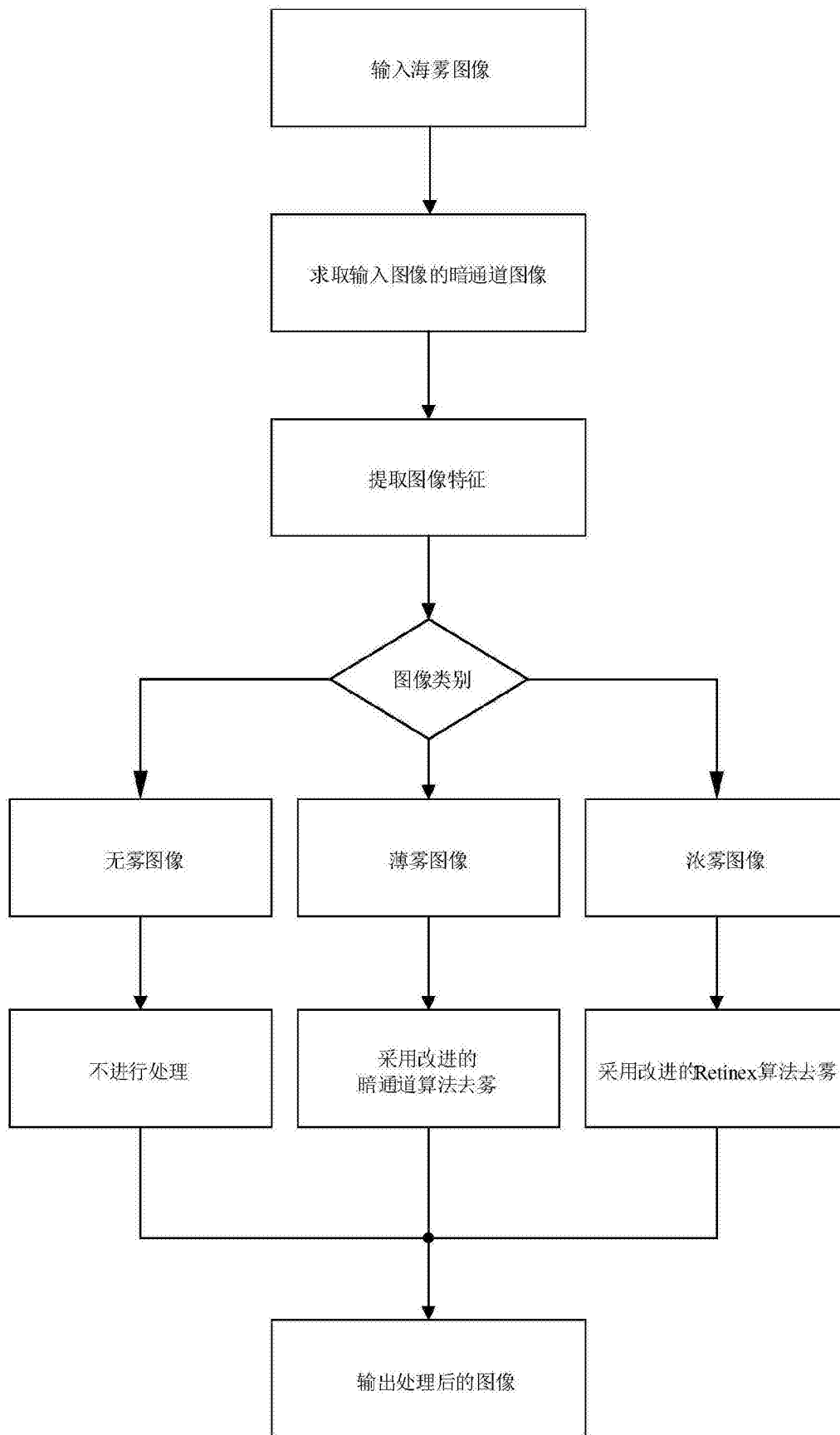


图1

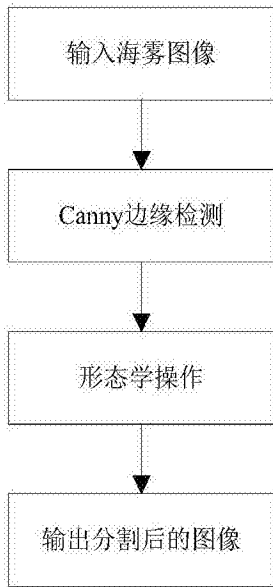


图2

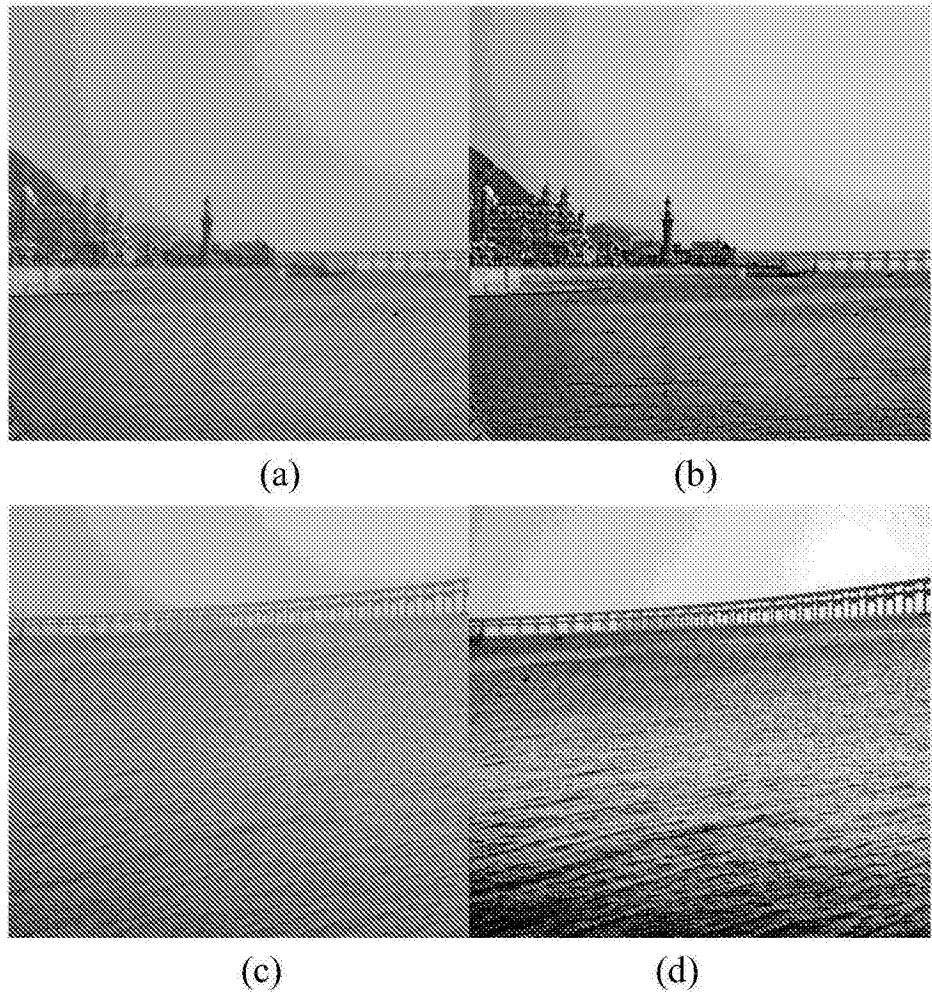


图3

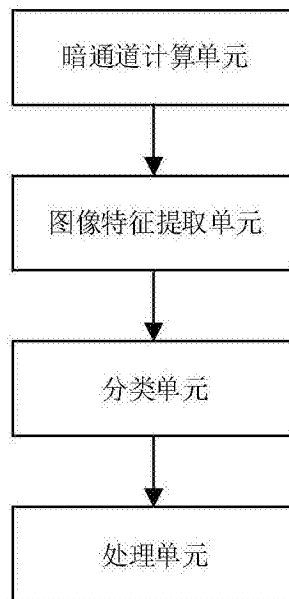


图4