

野外场景分析与水体识别新方法的研究

马 勇¹,成谢锋²,唐振民¹,张少白²

(1.南京理工大学计算机学院,江苏南京 210094; 2.南京邮电大学电子科学与工程学院,江苏南京 210003)

摘 要: 根据视觉认知规律,提出描述野外场景图像的三要素:地面、垂直物、天空,给出了单视角野外场景图像方程,通过采用基于独立图元函数码的三要素图像快速分类方法,实现对野外场景图像的分割,并且只在地面上去识别水体.本文重点讨论了野外场景中水体光照模型,分析了野外场景的相关物理特性,定义了水质参数、环境染色参数、图元、独立图元函数码、母图元等新概念,给出了野外场景分析与水体识别系统,提出基于位置、纹理、地质系数和环境染色等多特征参数的数据融合水体识别方法.实验表明该方法对于宽阔的道路场景分析和道路上的水体识别可以得到很好的效果.

关键词: 野外场景图像; 场景三要素; 图元; 独立图元函数码; 水体识别

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013)07-1419-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.07.027

New Methods for Outdoor Scene Analysis and Water Body Identification

MA Yong¹, CHENG Xie-feng², TANG Zhen-min¹, ZHANG Shao-bai²

(1. School of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China;

2. College of Electronic Science & Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: According to the law of visual perception, this paper presents three elements to describe the outdoor scene image: ground, vertical objects, the sky, and gives the equations for outdoor scene image. Then proposes fast classification method for outdoor scene image based on independent image element function code. And mainly discusses the water light model in outdoor scene, analyzes the related physical properties, defines the water quality parameters, environmental dyeing parameters, independent image element function code, the mother image element and so on. Finally presents wild scene analysis method and water body identification technology by using data fusion algorithm. Experiments show that the method for the wide outdoor scene analysis and water bodies identification can get very good results.

Key words: outdoor scene analysis; three scene elements; image element; independent image element function code; water body identification

1 引言

对野外场景进行分析与水体识别是地面机器人环境感知中的关键技术之一.野外环境中的水体一般都是由于地形凹陷加上降水等因素逐渐积累而形成的.水体障碍物(如水坑、池塘)在复杂野外环境下的检测对于机器人来说是一种较难检测的类型^[1~7].和一般突出路面的障碍类型相比,这类障碍具有无明显几何特征、水面图像受光照以及周围环境影响很大(如倒影)等特点,因此靠常规的图像分割方法很难获得准确的水面区域. Rankin 和 Geusebroek^[1,2]等人认为在空旷的野外,水面中大多数情况下都是天空的映射,所以可以直接通过检测

地平线以下天空的反射来确定水体位置和大小,据此提出了一种基于天空反射的水体检测方法,通过这种方法可以从几何上确定那些有可能是水体像素所映射的像素位置,并且根据颜色相似度以及局部地形特征估计真实的水体像素. Matthies 等人^[3]则使用短波红外摄像机,通过过滤某些波长的光而在图像中获得所要提取的水体区域,同时尝试在夜间使用了红外热像仪来获得水体信息,并评估了使用激光雷达和彩色摄像机来检测水面的可能性; Sarwal 等人^[4]则尝试了通过调节相机偏正镜片的角度的方法来提取小水面区域;文献^[5~8]针对虚拟场景、场景转换和图形的块处理描述也进行了比较深入的讨论.从总体来说,相关的研究还处于起步阶段.

本文根据地面机器人环境感知的特点和视觉认知规律,首先提出描述野外场景图像的三要素:地面、垂直物、天空,给出了单视角野外场景图像方程,然后讨论了野外场景中水体光照模型,分析了野外场景的相关物理特性,定义了水质参数、环境染色参数、图元、独立图元函数码、母图元等新概念,最后根据野外场景分析与水体识别系统和基于独立图元函数码的三要素图像快速分类方法,实现对野外场景图像的分割,并且只在地面上去识别水体.实验表明该方法对于宽阔的道路场景分析和道路上的水体识别可以得到很好的效果.

2 野外场景的三要素

针对地面机器人在野外行走对场景中必须要感知的主体内容,可以假设一幅野外场景主要由地面、物体、天空三要素组成.在这种假设条件下,野外场景图像中的每一个像素都可按地面、垂直物体、天空进行分类,并且很容易估计出地平线位置.因此对野外场景图像的分析,通常变成利用图像中的位置、纹理、颜色、以及几何特征对图像进行三要素分类并标记的问题.

设野外场景图像的坐标为 (x_i, y_i) , $i \in [1, T]$, 由空间点位置和它对应的图像三要素可以建立一个野外场景图像方程:

$$P(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^T (c_{1i} p_1(x_i, y_i) + c_{2i} p_2(x_i, y_i) + c_{3i} p_3(x_i, y_i) + c_{4i} p_4(x_i, y_i)) \quad (1)$$

其中, $p_1(x_i, y_i)$ 为天空像素, $p_2(x_i, y_i)$ 为物体像素, $p_3(x_i, y_i)$ 为地面像素, $p_4(x_i, y_i)$ 为三要素之外的其他混合像素,通常就是三要素之间的边界点.显然野外场景中的水体 $p_3^w(x_i, y_i)$ 应属于 $p_3(x_i, y_i)$ 中的一部分.

3 野外场景中水体光照反射模型

3.1 野外场景中水体光照特性

野外场景中的水体 $p_3^w(x_i, y_i)$ 往往具有光滑表面,入射光将会平行反射^[10~12].野外场景中水体吸收和发出光能的现象具有自己的特性:

(1)“染色”性.一个较大面积的静止 $p_3^w(x_i, y_i)$ 类似于一个全反射材质,水面的每一个点都包含了环境的信息.清洁、平静的水面的颜色主要受到环境光线的影响.蔚蓝色的天空可以使水面色调偏蓝,青山环抱的水面可以使水面色调偏绿,而晨曦和黄昏时金黄色调的阳光都可以使水面变成红色融融或者金光闪闪.而浑浊的水面呈泥土色,与四周的土壤颜色相近,但亮度较高.

(2)菲涅耳效应性.当光线与 $p_3^w(x_i, y_i)$ 表面的夹角很小的时候光线趋向于在表面反射,但当光线跟表面接近垂直时趋向于穿透水面,对野外场景中水体而言,此时水表面最亮,不过每一个点所包含的环境信息最少.

这也是一种很重要的特性,叫做 Fresnel(菲涅耳)效应.

(3)守恒性.在同一 $p_3^w(x_i, y_i)$ 上面,其彩色在同一相机及不同的拍摄环境下(不同角度、方位、环境等)所拍摄的图像彩色分量是一个不变信息,并且水体表面反射光线的能量总和一定小于入射光线的能量.

(4)置地性. $p_3^w(x_i, y_i) \in p_3(x_i, y_i)$, 相对位置通常在低处,并且具有较大面积,与地平线是平行的.

3.2 野外场景中水体光照模型

为从本质上分析野外场景中水体图像的特性,根据 Kubelka-Munk 理论^[11,12]:

$$S(\lambda; x, y) = e(\lambda; x, y)(1 - \varphi(x, y))^2 \tau(\lambda; x, y) + e(\lambda; x, y) \varphi(x, y) \quad (2)$$

$S(\lambda; x, y)$ 是在相机曝光时间内观测到的光谱能量总和.其中 (x, y) 为图像中像素的位置. λ 表示入射光的波长. $e(\lambda; x, y)$ 表示入射光. $\varphi(x, y) \in [0, 1]$ 为在 (x, y) 处物体表面的菲涅耳镜面反射系数,它取决于物体的性质,并与入射光角度、观察角度共同影响相机所获取的光谱能量分布.物体的光谱反射率表示为 $\tau(\lambda; x, y)$, 表示物体反射不同波段光线的的能力,即物体本身的颜色.针对式(2)的描述,设计一个野外场景中水体光照反射模型:将水体看作是三层物质(水表、水、水底)的组织,置于空气中.如图1所示.

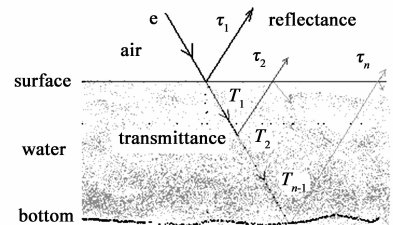


图1 野外场景中水体光照模型

光从空气射入水表层的透射率和反射率分别为 T_1 和 τ_1 , 光在水中颗粒层的透射率比和反射率分别为 T_i 和 τ_i , 光在水底层的透射率和反射率分别为 T_{n-1} 和 τ_n . 水体上方所有回射光的总和用 R_{1n} 表示, 下标 $1n$ 标识光由水表层到水底的传输过程, 则有:

$$\tau = \tau_1 + T_1 \tau_2 + \dots + T_{n-1} \tau_n \quad (3)$$

对于野外环境, 水体场景的入射光不仅有太阳的直射光, 而且有太阳光的漫反射光. 在仅有漫反射光的情况下, 入射光与波长 λ 无关, 仅与位置有关, 故入射光简化为 $e(x, y)$, 由式(2)可得:

$$S(\lambda; x, y) = e(x, y)[(1 - \varphi(x, y))^2 \tau(\lambda; x, y) + \varphi(x, y)] \quad (4)$$

对波长 λ 求一阶导数和二阶导数, 并进一步整理可得:

$$\xi = \frac{S_{\lambda\lambda}}{S_\lambda} = \frac{\partial^2 \tau(\lambda; x, y) / \partial \lambda^2}{\partial \tau(\lambda; x, y) / \partial \lambda} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{S}{S_\lambda} = \frac{\tau(\lambda; x, y) + \varphi(x, y) / (1 - \varphi(x, y))^2}{\tau_\lambda(\lambda; x, y)} \quad (6)$$

其中, ξ 同 (x, y) 处的菲涅尔反射系数 $\varphi(x, y)$ 以及入射光强度 $e(x, y)$ 无关, 只和物体本身的性质 $\tau(\lambda; x, y)$ 相关, 我们定义为环境地质系数. η 同样与入射光强度 $e(x, y)$ 无关, 只和物体本身的性质 $\tau(\lambda; x, y)$ 以及菲涅尔反射系数 $\varphi(x, y)$ 相关, 我们定义为环境物染色系数. 由此可以看出 ξ 和 η 在入射光颜色单一的情况下是一个不随视点位置、水体形状、入射光方向与强度改变而改变的常量. 因而通过求解 ξ 和 η , 就可以得到水体的光谱反射率以及菲涅尔反射系数关于波长的数学表达式, 可反应出水体 $p_3^w(x_i, y_i)$ 与周围地面像素 $p_3(x_i, y_i)$ 的区别.

3.3 参数 ξ 、 η 和 ν 的求解

由于位于图像中 x, y 位置的光谱能量总和 $S(\lambda; x, y)$ 的解析表达式很难获取. 根据相机成像原理, $S(\lambda; x, y)$ 是对应于图像像素点的固定位置处在曝光时间内感知的所有波长光谱能量分布的积分值. 而可见光彩色分量像素颜色一般可表示为 RGB 分量, 令 $I(\lambda)$ 为光谱能量分布函数, $R(\lambda), G(\lambda), B(\lambda)$ 分别为 R, G, B 分量的感知函数, 感知函数与相机参数有关. 由于 R, G, B 分量可以组合出绝大部分颜色, 为计算方便, 所以 $S(\lambda)$ 可近似表示为三个感知函数的线性组合:

$$\begin{aligned}
 S(\lambda) &= k_R R + k_G G + k_B B \\
 &= k_R \int_{380}^{780} I(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 &\quad + k_G \int_{380}^{780} I(\lambda) G(\lambda) d\lambda \\
 &\quad + k_B \int_{380}^{780} I(\lambda) B(\lambda) d\lambda \quad (7)
 \end{aligned}$$

另外, 将 $S(\lambda)$ 在波长 λ_0 处泰勒展开:

$$S(\lambda) = S(\lambda_0) + \lambda S_\lambda(\lambda_0) + \frac{1}{2} \lambda^2 S_{\lambda\lambda}(\lambda_0) + O(\lambda^3) \quad (8)$$

参照文献[3]可以得到:

$$\begin{bmatrix} S \\ S_\lambda \\ S_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0024 & 0.0252 & 0.0108 \\ 0.0119 & 0.0017 & -0.014 \\ 0.0137 & -0.024 & 0.0066 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (9)$$

由此 ξ 和 η 分别为:

$$\xi = \frac{0.0137R - 0.024G + 0.0066B}{0.0119R - 0.0017G - 0.014B} \quad (10)$$

$$\eta = \frac{0.0024R - 0.0252G + 0.0108B}{0.0119R - 0.0017G - 0.014B} \quad (11)$$

可见, 识别野外场景中的水体, 实际上是在 $p_3(x_i, y_i)$ 上分割出亮度较大且具有一定面积的物体, 该物体当然还应该满足野外场景中水体的那些物理特性, 其环境地质系数 ξ 和环境染色参数 η 都应该满足某个阈值.

纹理参数 ν 可以利用 sobel 算子计算得到^[13,14], 即

$$\nabla p(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y} \right]^T \quad (12)$$

基于 Sobel 算子的像素梯度模值是图像纹理变化

大小的一种度量, 不同的区域具有不同的纹理参数 ν . 天空区域 $p_1(x_i, y_i)$ 因为灰度变化缓慢, 所以 ν 值较小, 而物体区域 $p_2(x_i, y_i)$ 、地面区域 $p_3(x_i, y_i)$ 因为纹理丰富, ν 值较大.

4 野外场景三要素的快速分割

4.1 野外场景分析与水体识别系统

我们设计的野外场景分析与水体识别系统如图 2 所示. 第一阶段对野外场景图像进行预处理, 通过图像增强、按所需精度划分图元, 并据母图元选择原则自动获得天空、物体、地面的母图元, 然后实现对天空、物体、地面三要素的分类和标记. 第二阶段只在地面图元中进行, 先对地面图元提取环境地质参数 ξ 、环境染色参数 η 和纹理参数 ν , 然后进行基于多特征参数融合的水体识别. 图 3 给出了天空、物体、地面、水体四种图元所分别对应的 ξ 、 η 和 ν 参数, (其中纵轴坐标分别为 ξ 、 η 和 ν 的一组参数值, 横轴坐标为对应的数组编号). 可见天空、水体图元的 ξ 、 η 是相同的, 表明在同一图像中天空、水体是最亮、反射系数最高、会受环境的颜色影响较大的像点; 而天空图像的纹理变化小, ν 值就变化小, 物体、地面、水体倒影的纹理变化大, 相应的 ν 值变化就越大. 对于水体识别方法较多, 如统计分析方法、神经网络方法等, 也可直接使用 DTW 算法进行匹配.

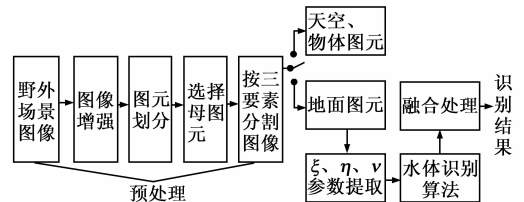


图2 野外场景分析与水体识别系统

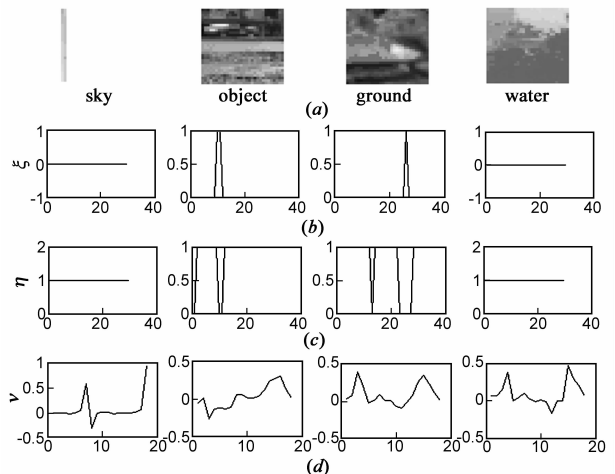


图3 四种图元所分别对应的 ξ 、 η 和 ν 参数

4.2 母图元的选择原则

母图元选择是否恰当会直接影响到图像三要素分

类的效果和效率,那么如何从单幅图像的 Q 个图元中选择出母图元呢?我们提出母图元的选择原则是:

(1)母图元 P_1^q, P_2^q, P_3^q 之间应尽可能互不相关,有 $\text{Cov}(P_1^q, P_2^q, P_3^q) \Rightarrow 0$.

(2)每个母图元应不违背图像三要素各自所具有的位置、颜色、纹理、形状等典型特征.

(3)在同类图元中,母图元可更换.

第一条原则表明,母图元的互不相关性表面图像三要素是三个相对独立的图块,这些区域是互不相交的,同时这种互不相关性有利用独立图元函数码对图像进行分类;第二条原则表明,图像中的位置、颜色、纹理、形状信息提供了区分图像三要素的重要线索.同一个区域都满足特定区域的一致性.比如 P_3^q 通常处于图像的下部,一般是绿色(草地)或是灰色的(土地)的; P_1^q 通常处于图像的上部,大部分是蓝色或是白色的; P_2^q 通常处于图像的中部,区域形状通常为凸的,而地面和天空通常为非凸的并且较宽.因此,可以考虑在图像高度位置的 90%、50%、10% 的垂直区域内分别选择母图元 P_1^q, P_2^q, P_3^q .第三条原则表明同要素区域相邻图元的颜色、纹理、位置、形状不可能发生突变,为了提高准确率和分割速度,可采用相邻图元比较分类,母图元逐幅更换的方法进行.

4.3 基于统计独立图元函数码的三要素图像快速分割

为了尽可能快的从单幅室外场景图像中对地面、物体、天空三要素进行分类,采用如下方法:

(1)选定三要素母图元.对所给的单视角图像先分成 Q 个等长等宽的图元,有针对性的在其中选定三个母图元,它们分别是地面、物体、天空三要素的核心图块,具有三要素的典型特性;

(2)求母图元的统计独立图元函数.设所选天空的母图元为 $P_1^q = \sum p_1^q(u_i, v_i)$,现在问题的关键是如何从一块母图元信号中分解出等长等宽的 M 层分层数据,并形成独立图元函数码.由于小波分析可以在任意的时频分辨率上将信号分解,具有很好的局部化特性.可以利用小波转换(WPT)将信号分解成一些窄带信号.因此利用二维离散小波分解母图元,可分解出等长等宽的多层母图元的分层图像,再获得该母图元的独立图元函数码.同理分析可以获得地面母图元 $P_3^q = \sum p_3^q(u_i, v_i)$ 和物体母图元 $P_2^q = \sum p_2^q(u_i, v_i)$ 的独立图元函数码.

(3)将单幅图像的 Q 个图元分别与三个母图元进行分类识别处理.我们采用一种相似距离来描述两个图元的独立图元函数码间的距离.

设母图元的独立图元函数码为 $b_i(t)$,被分类的

第 q 个图元信号的独立图元函数码为 $a_j(t)$,则相似距离为:

$$d_k = 1 - \frac{\left| \sum_{n=1}^{N \times M} b_i(t) a_j(t) \right|}{\sqrt{\sum_{n=1}^{N \times M} b_i^2(t) \sum_{n=1}^{N \times M} a_j^2(t)}} \quad (13)$$

当 $b_i(t)$ 与 $a_j(t)$ 之间相似距离 d_k 值越小,则 $a_j(t)$ 与 $b_i(t)$ 越相似;当 $d_k = 0$ 时, $a_j(t) = b_i(t)$,表明是其自身^[13].因此,将 Q 个图元的独立图元函数码分别与三个母图元的独立图元函数码一一对应进行模式匹配,可找出它们的相似距离,设定一个阈值,就能实现对它们的分类和标记.

4.4 独立图元函数码

根据参考文献[9],一幅图像信号是能够由一系列加权的独立图元函数码的线性叠加所构成.一个图像信号的独立图元函数码可以通过一组训练数据的学习而获得,而这些独立图元函数码能被用来识别未知的图像信号.假定一幅天空图像信号 $P_1^1(u, v)$ 被显示在图 4(a)中.对于 $P_1^1(u, v)$,我们将其分解为 N 个等长等宽的小的图元 $p^1\{n\}$, ($n = 1, 2, \dots, N, N = 16$),如图 4(b)所示. $p^1\{n\}$ 比 $P_1^1(u, v)$ 小许多.将它们都转换成一维形式,可获得一组相互统计独立的函数码^[9,13],定义为独立图元函数码簇 b_1^m ,如图 4(c)所示(其中纵坐标为幅值,横轴坐标为图元转换成一维像素后的序号).同一类图像信号都是能够由一系列加权的统计独立图元函数码簇的线性叠加所构成^[9],图 4(a)中 $P_1^1(u, v)$ 就能够由独立图元函数码 b_1^m ($m = 1, 2, \dots, M$) 的线性加权而获得.假定 M 是独立图元函数码的总个数, c_{mm} 是图像信号 $P_1^1(u, v)$ 第 n 个图元的第 m 个独立图元函数码的系数,当 $N = M$,则图元 $p^1\{n\}$ 和独立图元函数码 b_1^m 的转换是可逆的.如果 b_1^m 和 c_{mm} 能够预先获得,那它们就能作为进行图像分类、分割的先验信

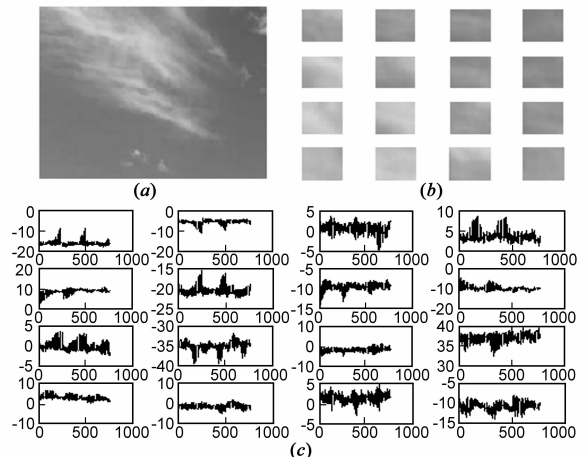


图4 统计独立图元的组成原理示意图

息.若 C 的逆矩阵是 $W = C^{-1}$, 对于训练数据图元 $p^i \{n\}$, 可先使用主成分分析对这些数据进行降维, 然后采用负熵最大判据进行迭代处理^[9], 逐个求出 W_1, W_2, \dots, W_M , 从而得到各个统计独立图元函数码 b_i^m .

5 实验与分析

5.1 实验

图 5 的实验给出了一个对野外场景图片进行三要素分析和识别出水体的例子. 第一步将如图 5(a) 的图像 P 进行图像增强如图 5(b) 所示, 然后将其等分成为了 64 个图元 $P\{n\}$ ($n=1, 2, \dots, 64$), 分为 8 行 8 列, 根据 4.2 节母图元的选择原则, 在图像高度位置的 90%、50%、10% 的垂直区域内, 分别选取第 $P_1^s = P\{2\}$, $P_2^s = P\{18\}$, $P_3^s = P\{50\}$, 作为初选的母图元. 如图 5(c) 所示. 然后对 P_1^s, P_2^s, P_3^s 分别进行 2 层小波分解, 并按照 4.4 节所述方法求取它们的独立图元函数码, 如图 6 所示. 其中图 6(a) P_1^s 是 P_1^s 的一维形式, b_1^1, b_1^2 是 P_1^s 的独立图元函数码; 图 6(b) P_2^s 是 P_2^s 的一维形式, b_2^1, b_2^2 是 P_2^s 的独立图元函数码; 图 6(c) P_3^s 是 P_3^s 的一维形式, b_3^1, b_3^2 是 P_3^s 的独立图元函数码. 并且将 64 个图元按照 4.3 节所述方法分别与三个母图元进行分类识别处理, 用式(13)求两个独立图元函数码间的距离, 设 $d = 0.05$ 为分类判别阈值, 对相似距离 $d_k \leq d$ 的两个图元视为同类, 对不满足条件的图元视为混合图元. 通常混合图元就是天空与垂直物、垂直物与地面的分界处, 为了提高分割精度, 使分割后的图像边缘处不出现锯齿形图边, 可对每一个混合图元视为一副单幅图像, 按上述方法同样进行更细化的分类处理, 可获得所需的效果.

根据相邻图元比较分类, 母图元逐幅更换的方法, 首先选择天空母图元 $P\{2\}$ 相邻图元 $P\{2-1\}, P\{2+1\}$

进行比较, 并且选择它们的独立图元函数码间的平均相似距离 d_p 扩大 1.0~1.5 倍作为天空分类判别的阈值 λ_1 , 然后对 $P\{2+8\}$ 对进行识别, 如果 $P\{2+8\}$ 被分类为天空, 则逐幅更换 $P\{2-1\}, P\{2+1\}, P\{2+8\}$ 为新的母图元 P_1^s 并对其它相邻的图元进行分类. 当独立图元函数码间的相似距离发生明显变化时, 可分类为混合图元. 同理可对物体母图元 $P_2^s = P\{18\}$, 地面母图元 $P_3^s = P\{50\}$ 进行这样的分类处理. 然后在图像三要素分类的基础上, 对地面图元 P_3^s 求 ξ, η 和 ν 参数, 对满足 $\xi = 0, \eta = 1$ 和 $\nu = 0.13 \pm 0.03$ 的图元标记为水体, 估计得到的图像三要素分析和水体识别的结果如图 5(d) 所示.

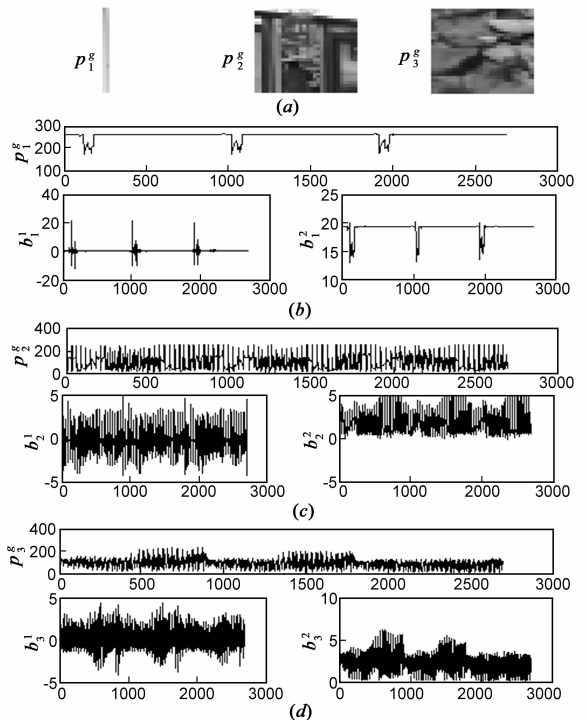


图6 三个母图元的独立图元函数码

5.2 分析

(1) 对于野外场景, 我们假设每一幅场景都是由地面、物体、天空三要素组成, 是通过对大量野外场景图片总结而得的结果, 因为野外场景具有高度的结构化, 是由有限的要素构成^[14]. 在正常情况下, 这个假设是合理的, 能描述绝大多数的野外场景.

(2) 为了解决母图元的选择问题, 图像位置是最重要的特征, 其它参数如颜色、纹理、以及几何结构等都是次要的, 因此首先在图像的 90%、50%、10% 的垂直区域内分别选择母图元.

(3) 作者通过较多的仿真实验发现, 在准确确定出地面、物体、天空首选母图元的情况下, 本文所述的这种先粗后精的识别方法, 对改善水体识别效率和准确

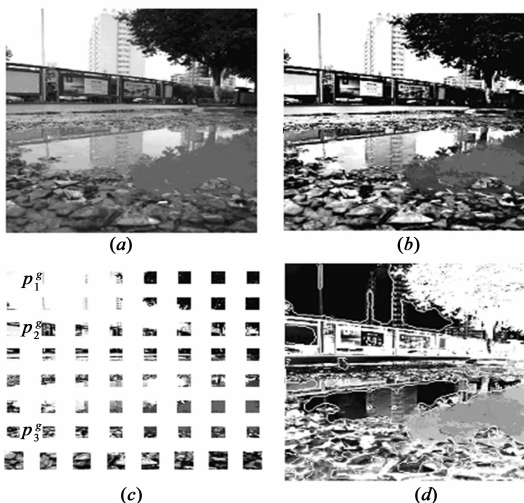


图5 野外场景的三要素分析和水体识别

率具有明显的效果。

6 结论

野外环境下的场景图像分析与水体检测技术是一项很有实用价值的研究工作。本文对原始的野外场景 RGB 图像物理特性进行分析,根据野外行走机器人的认知特点,跳出常规思路,强调主要矛盾,提出了描述野外场景图像的地面、垂直物、天空三要素,通过基于独立图元函数码的图像三要素分析新方法,实现了对野外场景图像这三个区域的识别,并且只在地面图元中去标记水体。实验检测效果良好,识别率基本达到了实用水平。

参考文献

- [1] A Rankin, L Matthies, A Huertas. Daytime water detection based on sky reflections[A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA)[C]. Shanghai, China: Shanghai International Conference Center, 2011. 5329 – 5336.
- [2] J M Geusebroek, R van den Boomgaard, A W M Smeulders, H Geerts. Color invariance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence(PAMI), 2001, 23(12): 1338 – 1350.
- [3] Larry Matthies, Paolo Bellutta, Mike Mchenry. Detecting water hazards for autonomous off road navigation[A]. Proceedings of SPIE Conference 5083: Unmanned Ground Vehicle Technology V[C]. Orlando, FL: SPIE, 2003. 263 – 352.
- [4] Sarwal A, Nett J, Simond. Detection of Small Water Bodies[R]. USA: Perce Teak Robotics, 2004. 68 – 92.
- [5] 过洁, 徐晓阳, 潘金贵. 虚拟场景的一种快速优 Kd-Tree 构造方法[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1112 – 1116.
GUO Jie, XU Xiao-yang, PAN Jin-gui. Build Kd-tree for virtual scenes in a fast and optimal way[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(8): 1112 – 1116. (in Chinese)
- [6] 刘硕研, 须德, 冯松鹤. 一种基于上下文语义信息的图像块视觉单词生成算法[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1156 – 1161.
LIU Shou-yan, XU De, FENG Song-he, LIU Di, QIU Zheng-ding. A novel visual words definition algorithm of image patch based on contextual semantic information[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1156 – 1161. (in Chinese)
- [7] M Iqbal, O Morel, F Meriaudeau. A survey on outdoor water hazard detection[A]. Proceedings of the 5th International Conference on Information & Communication Technology and Systems(ICTS)[C]. Indonesia, 2009. 1 – 7.
- [8] 高宇, 卓力, 王素玉. 一种基于 H.264/AVC 压缩域的 GOP

级视频场景转换检测算法[J]. 电子学报, 2010, 38(2): 382 – 386.

GAO Yu, ZHUO Li, WANG Su-yu. A GOP level video scene change detection algorithm in H.264/AVC compression domain[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2): 382 – 386. (in Chinese)

- [9] 成谢锋, 马勇, 张学军, 等. 一种不用先验知识的单路混合信号的盲源分离新方法[J]. 电子学报, 2011, 39(10): 2317 – 2321.
CHENG Xie-feng, MA Yong, ZHANG Xue-jun, et al. A single-channel mixed signal BSS new method without using the prior knowledge[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(10): 2317 – 2321. (in Chinese)
- [10] Kay M. Investigating the effect of vasodilator drugs on the turbulent sound caused by femoral artery stenosis using short-time fourier and wavelet transform methods[J]. IEEE Transactions on BME, 1994, 41(10): 921 – 930.
- [11] A Rankin, L Matthies, A Huertas. Daytime water detection by fusing multiple cues for autonomous off-road navigation[A]. Proceedings of the 24th Army Science Conference[C]. Orlando, FL, 2004. 177 – 184.
- [12] A Rankin, L Matthies. Daytime water detection based on color variation[A]. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS)[C]. Taipei, Taiwan, 2010. 215 – 221.
- [13] Cheng Xiefeng, Ma Y, Liu C, et al. Research on heart sound identification technology[J]. SCIENCE CHINA Information Sciences, 2012, 55(2): 281 – 292.
- [14] Hoiem D, Efros A, Hebert M. Automatic photo pop-up[A]. ACM SIGGRAPH[C]. Los Angeles, USA: ACM Press, 2005. 577 – 584.

作者简介



马勇男, 1983年10月出生于河南三门峡。2009年在北京信息科技大学获得硕士学位, 目前是南京理工大学计算机学院在读博士生。主要研究方向是模式识别、主动安全和机器人技术。

E-mail: mayong0626@163.com

成谢锋男, 教授, 1956年6月出生于四川资阳。主要从事智能信息处理、智能仪器方面的研究工作。

E-mail: chengxf@njupt.edu.cn

唐振民男, 教授, 1961年4月出生。南京理工大学计算机学院院长、博士、博士生导师。主要研究方向是模式识别与智能系统, 包括: 智能机器人与目标识别、图象处理与模式识别等。