

# 具有深度视觉感的车载红外图像彩色化方法

邹芳喻 孙韶媛 席林 李琳娜

(东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620)

**摘要** 提出了一种实现具有深度视觉感的车载红外图像彩色化的方法,对车载红外图像采用区域生长分割算法进行景物分类,分为天空、树木和道路,再分别对每一景物估计深度,然后根据得出的深度信息再结合景物的色彩先验知识,实现具有深度视觉感的红外图像彩色化。实验结果显示该方法能够得到较接近真实的深度和色彩视觉效果。

**关键词** 成像系统;深度估计;车载红外;立体感;彩色化

**中图分类号** TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.011101

## Color Stereo Vision Method of Vehicular Infrared Images with Depth Perception

Zou Fangyu Sun Shaoyuan Xi Lin Li Linna

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract** Colorization with depth perception for vehicular infrared image is implemented. We segment the vehicular infrared image into sky, tree and road classes using region growing method and then estimate the depth of each kind of scene. According to the depth information and prior knowledge of scenery colors, colors with depth perception are transferred to the infrared images. The experimental results show that the proposed method can colorize the infrared image with natural depth perception.

**Key words** imaging systems; depth estimation; vehicular infrared; stereo perception; colorization

**OCIS codes** 110.3080; 100.2960; 100.2980

## 1 引言

红外成像夜视技术越来越多地应用到车载辅助驾驶系统中。原始的车载红外图像都是灰度图像,具有纹理简单、对比度低等特点<sup>[1]</sup>。人眼对彩色图像的分辨能力远远大于对灰度图像的分辨能力,对车载红外图像进行彩色化处理可以增强夜视图像的视觉效果,使驾驶者更好地识别障碍物。除了色彩之外,图像的空间立体感在对场景的理解中也至关重要<sup>[2]</sup>,空间感可以让人们辨别景物的深度,识别路径及目标位置。目前对灰度图像彩色化的方法很少考虑景物的深度信息。文献[3]采用运动估计的方法实现夜视视频的彩色化,文献[4]采用匹配亮度和纹理的方法实现色彩传递,取得了较好的彩色效果。但是这些方法在图像彩色化过程中都没有考虑景物的深度信息,使得彩色化的红外图像缺少视觉上的空间立体感。本文在对车载红外图像进行彩色传递时融合了景物的深度信息,以期彩色化后的图像具有深度视觉感。该方法首先需要对红外图像进行深度估计,然后再进行融合深度信息的色彩传递。

估计图像深度的方法从摄像头数量上可分为双目、单目<sup>[5]</sup>,双目深度估计运用的是视差信息,在两幅存在视差的图像间进行立体匹配来估计深度。由于红外图像是反映物体温度分布的热辐射图像,具有纹理简单、对比度低等特点,使图像间立体匹配不易精确实现,并且车载辅助驾驶系统从成本考虑都是单个红外成

**收稿日期**: 2012-07-02; **收到修改稿日期**: 2012-09-26; **网络出版日期**: 2012-11-10

**基金项目**: 国家自然科学基金(61072090)和中央高校基本科研业务费专项资金资助课题。

**作者简介**: 邹芳喻(1987—),男,硕士研究生,主要从事图像处理方面的研究。E-mail: zoufangyu@yahoo.com.cn

**导师简介**: 孙韶媛(1974—),女,博士,副教授,主要从事彩色夜视、模式识别与智能系统及信息融合等方面的研究。

E-mail: shaoyuan.sun@gmail.com

像设备,因此本文基于单目图像来估计深度。在单目图像深度估计方面,文献[6]提出了基于图像散焦的深度估计方法,但基于散焦的方法一般要求多幅图像,而且要求成像设备的参数,并不适于红外图像的深度估计。文献[7]提出基于像素间关系从而建模马尔可夫随机场(MRF)的方法,由于MRF计算相当复杂,在现阶段的软硬件条件下不利于实际应用。文献[8]提出了基于图像内容理解的方法估计单目彩色户外场景的深度,取得了较好的估计深度的效果。

基于车载红外图像的无色彩、场景内容较固定的特点,本文先基于图像分割实现景物分类,然后对各类分别赋予相应的深度,最后在图像彩色化的过程中,用深度信息去调制色彩的饱和度,从而实现具有深度立体视觉感的车载红外图像彩色化图像效果。

## 2 图像景物分类

首先对车载红外图像进行景物分类。根据先验知识,此类图像的特点就是景物类别简单,基本上可归为3个类别——天空、道路和其他(主要为树木、行人等,下文统一称作树木),如图1所示。

本文采用区域生长<sup>[9]</sup>的方法来实现景物分类。区域生长分割方法是在图像中先选取生长的种子点,然后设一常量 $T$ 作为阈值,图像中像素与种子点的灰度差小于 $T$ 就把它认为与种子点足够相似,这样会得到大于或等于一个备选的8连通区域,种子点所属的8连通区域就是最后的生长结果。

下面是各类景物具体的分割步骤。

### 2.1 分割提取道路

设 $F$ 为 $X$ 行 $Y$ 列的红外图像,如图2所示。

根据先验知识,道路通常是一个连通的区域,而且总是与图像的最下边缘连接(即图像的第 $X$ 行的所有像素中总有属于道路的点),而且第 $X$ 行第 $Y/2$ 列像素一定属于道路,这样就可以选取第 $X$ 行第 $Y/2$ 列的像素点作为区域生长分割算法的种子点。设种子点灰度值为1,图像其余像素灰度值为0,即

$$F_{rz}(x,y) = \begin{cases} 1 & x = X, y = Y/2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $F_{rz}(x,y)$ 即为标记了道路种子点的二值图像。本文中下标符号 $r,s,t,z$ 分别对应图像的道路、sky、tree、种子点; $rz$ 表示道路区域的种子点, $sz$ 为天空区域的种子点,其他同理。然后进行区域生长,算法执行过程分两步。首先在整幅图像中找到灰度值与道路种子点的灰度值的差小于28的所有像素,会得到一个或多个8连通区域;这些8连通区域中包含种子点的连通区域就是分割出的道路区域。图3(a)是一幅原始车载红外图像,图3(b)白色区域是通过区域生长分割出的道路区域,表示为 $F_r$ 。

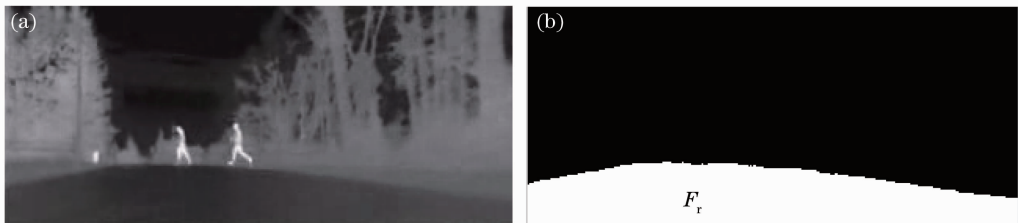


图3 (a)原始车载红外图像;(b)提取出道路区域的结果

Fig. 3 (a) Original vehicular infrared image; (b) extraction result of road region

### 2.2 分割提取天空

天空总是与图像最上边缘连接,这样可以选取上边缘的像素作为分割天空的种子点,因为上边缘灰度值



图1 一幅车载红外图像

Fig. 1 A vehicular infrared image

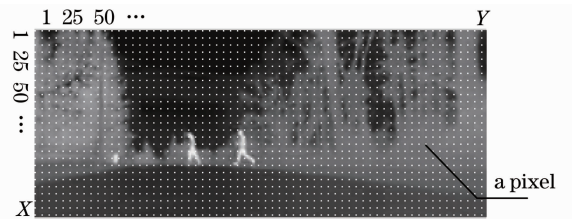


图2 图像坐标约定

Fig. 2 Image coordinate conventions

最小的像素总属于天空。但天空不一定只是一个连通区域,因此可以选取多个种子点来进行分割。假设上边缘最小灰度值为  $B$ , 设一个阈值  $A$  (本文选择 30), 选取灰度值小于等于  $(A + B)$  的像素都为种子点, 其灰度值设为 1, 图像其余像素灰度值设为 0, 表达式为

$$F_{sz}(x, y) = \begin{cases} 1 & F(x, y) \leq A + B \\ 0 & F(x, y) \geq A + B \end{cases} \quad (2)$$

式中  $F_{sz}(x, y)$  即为标记了天空种子点的二值图像。

依据(2)式选取种子点,对经过 2.1 节去除道路区域后的图像进行区域生长分割提取天空区域,算法执行过程分两步。首先在整幅图像中找到灰度值与天空种子点的灰度值的差小于 31 的所有像素,会得到一个或多个 8 连通区域;然后在这些 8 连通区域中找包含种子点的连通区域就是分割出的天空区域。图 4(a)是一幅原始车载红外图像,图 4(b)白色区域是通过区域生长分割出的天空区域,表示为  $F_s$ 。

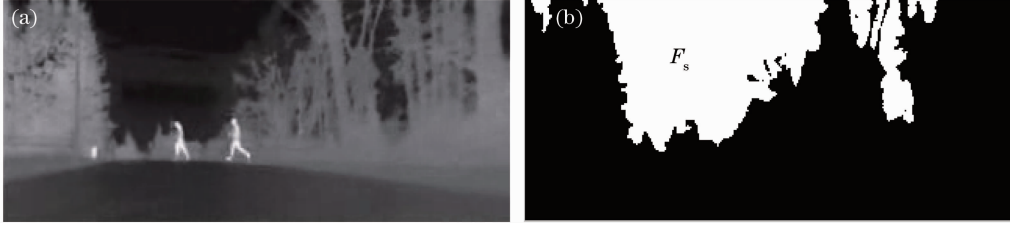


图 4 (a)原始车载红外图像;(b)提取出天空区域的结果

Fig. 4 (a) Original vehicular infrared image; (b) extraction result of sky region

### 2.3 分割提取树木

前面已经把天空和道路分割出来,其余的图像区域一并作为第三类处理,表示为  $F_t$ 。图 5(a)是一幅原始车载红外图像,图 5(b)黑色、灰色和白色区域分别是提取出的天空、树木和道路区域,表示为  $F_s$ 、 $F_t$  和  $F_r$ 。车载红外图像中经常有行人,然而在红外图像中行人的灰度值较高,易与其他景物区分,因此在分割部分不对行人单独做分割提取。

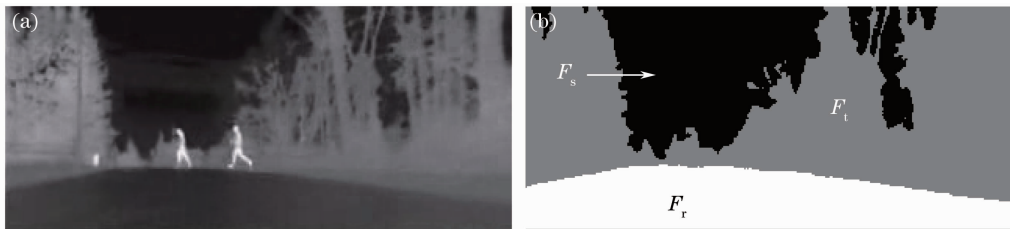


图 5 (a)原始车载红外图像;(b)分割出天空、道路、树木的结果

Fig. 5 (a) Original vehicular infrared image; (b) results of sky, roads and trees segmented

## 3 图像深度估计

深度估计根据 3 个景物类别分别考虑,采用不同的方法得出深度。先确定道路深度,然后依据道路的深度得出树木的深度,最后确定天空的深度。

### 3.1 确定道路深度

通常情况下,道路的深度随着它在图像中的行坐标渐变,行坐标(用  $x$  表示)越小所具有的深度越大,这样就可以把道路的深度表示为

$$d_r(x, y) = w - n(x_{\max} - x), \quad x, y \in r, \quad (3)$$

式中  $d_r(x, y)$  表示坐标为  $x$  的道路区域的深度值; $w$  和  $n$  是常数,  $w$  本文实验取常数 229,  $n$  决定灰度渐变快慢程度,实验中取 4;  $x$  为属于道路区域像素的行坐标值,  $x_{\max}$  为道路的最大行坐标值;  $r$  为道路区域,这里设深度值越小灰度值越大。图 6(a)是一幅原始车载红外图像,图 6(b)是用本文的方法得到了估计了道路深度的图像。

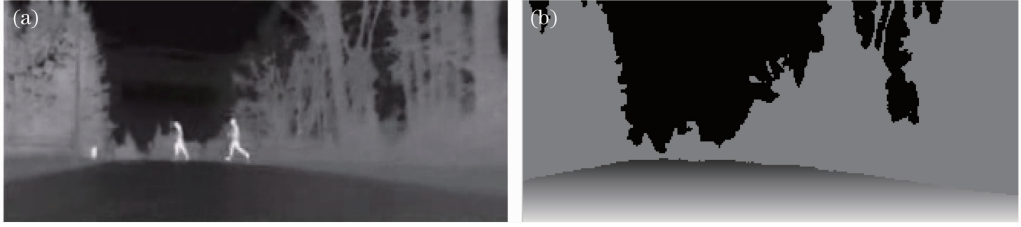


图 6 (a)原始车载红外图像;(b)估计出道路深度的图像

Fig. 6 (a) Original vehicular infrared image; (b) image with estimated depth of the road

### 3.2 确定树木深度

在车载红外图像中,树木是在道路的两边,这样树木的深度与道路的深度有直接联系,即具有相同列坐标树木的深度和与它相连接的道路的深度是近似的。在 2.3 节并未对行人进行单独分割,这是因为行人的深度可以按照树木深度的估计方法来大致确定,所以一起考虑。根据前面确定的道路深度值,给相应的树木赋予深度。分别由

$$(x_r, y_{r_{\min}}^x) = \min(x_r, y_r), \quad (x_r, y_r) \in r \quad (4)$$

$$(x_r, y_{r_{\max}}^x) = \max(x_r, y_r), \quad (x_r, y_r) \in r \quad (5)$$

$$d_t(x, y) = d_r(x_r - 1), \quad (y_{r_{\min}}^x \leq y \leq y_{r_{\min}}^{x-1}) \quad \text{and} \quad (x, y) \in t \quad (6)$$

$$d_t(x, y) = d_r(x_r - 1), \quad (y_{r_{\max}}^x \leq y \leq y_{r_{\max}}^{x-1}) \quad \text{and} \quad (x, y) \in t \quad (7)$$

求出道路行坐标为  $x_r$  时最小的列坐标,道路行坐标为  $x_r$  时最大的列坐标,道路左边树木的深度和道路右边树木的深度。(4)~(7)式中  $y_{r_{\min}}^x$  表示道路行坐标为  $x_r$  时最小的列坐标,  $y_{r_{\max}}^x$  表示道路行坐标为  $x_r$  时最大的列坐标,  $d_t(x, y)$  表示列坐标为  $y$  的道路区域的深度值,  $d_r(x_r - 1)$  表示道路行坐标为  $x_r - 1$  对应的深度值,  $t$  表示树木区域,  $r$  表示道路区域。各个关键点的示意图如图 7 所示。

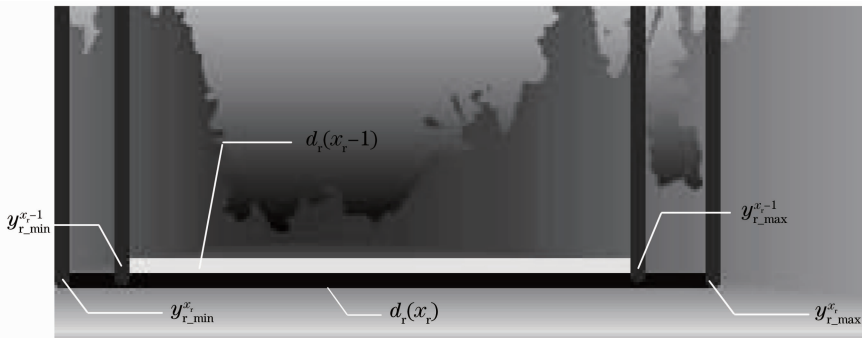


图 7 图像关键点示意图

Fig. 7 Schematic diagram for key points of the image

由于有的图像并不是道路的宽度等于图像的宽度,这样就有左边和右边的部分图像找不到对应的道路灰度级赋予相对的深度,根据先验知识,这部分图像深度更小,可以把它们设为小于道路的最小深度  $\min[d_r(x, y)]$  再进一步渐变。图 8(a)是一幅原始车载红外图像,图 8(b)是用本文的方法得到的估计了道路和树木深度的图像。

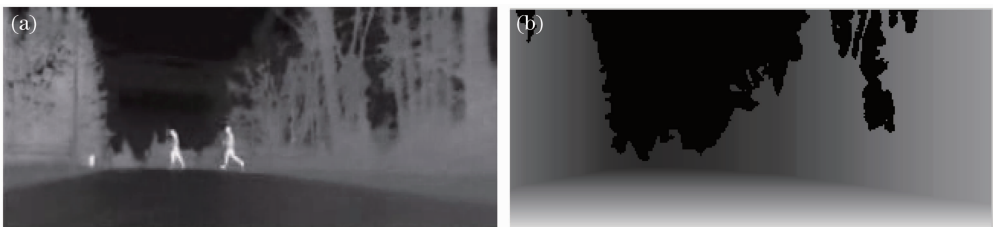


图 8 (a)原始车载红外图像;(b)估计出道路和树木的深度图像

Fig. 8 (a) Original vehicular infrared image; (b) image with estimated depth of the road and the tree

### 3.3 确定天空深度

依据先验知识,天空离观察者的距离为无限大,沿着观察者向前方的视线有距离的延伸变化,在图像中为  $x$  坐标越小,深度距离越小,可表达为

$$d_s(x, y) = q - mx, \quad x, y \in s \quad (8)$$

式中  $d_s(x, y)$  表示坐标为  $x$  的天空区域的深度值;  $q$  为常数,为预先设定的最大灰度值,本文实验中取 150;  $m$  为常数,决定灰度值变化快慢程度;  $x$  为行坐标值,这里设深度越大灰度值越小;  $s$  表示通过分割提取出的天空区域。

结合前面 3 部分估计出的深度,可得到整幅图像的深度  $d(x, y)$ ,图 9(a)是一幅原始车载红外图像,图 9(b)是用本文的方法估计出整幅图像深度的结果。

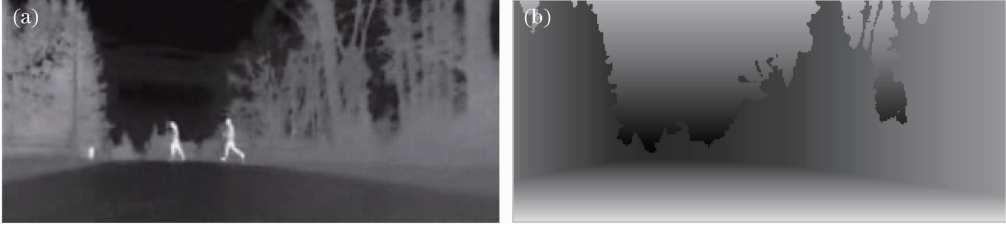


图 9 (a)原始车载红外图像;(b)估计出整幅图像深度的结果

Fig. 9 (a) Original vehicular infrared image; (b) result of the entire image with all depths estimated

## 4 色彩传递

自然界中,在色调-饱和度-强度(HSI)空间考虑,离观察者距离不同的同一景物的色调  $H$  是相同的,饱和度和强度  $S$  和强度  $I$  不同<sup>[10]</sup>。据此,可以结合深度图给图像的 3 个类别区域分别赋予相应的色调、饱和度和强度。

### 4.1 道路彩色化

根据先验知识,道路为沥青色,近似于灰色,没有相对应的原色调,所以设道路色调值和饱和度值都为 0,只改变道路的深度值( $I_r$ )来近似表达道路的沥青色变化,强度值用道路的深度值体现,表示为

$$H_r(x, y) = S_r(x, y) = 0, \quad I_r(x, y) = d_r(x, y), \quad (9)$$

式中  $H_r(x, y)$ 、 $S_r(x, y)$ 、 $I_r(x, y)$  分别为道路的色调、饱和度和强度, $d_r(x, y)$  是由(3)式确定的道路深度。

### 4.2 树木彩色化

树木的色调通常为绿色,本文设树木区域的色调值为 83,而且自然界树木的饱和度与树木离观察者距离的大小有密切关系,即距离越大饱和度越小。所以树木的饱和度可以根据深度值来确定,表示为

$$S_t(x, y) = d_t(x, y), \quad (10)$$

式中  $S_t(x, y)$  为树木的饱和度, $d_t(x, y)$  为由(6)式和(7)式确定的树木深度。

因为树木的纹理较复杂,为了较好地保持原有树木的纹理,考虑到纹理特征主要体现在像素灰度值的跳变,因此树木的强度值( $I_t$ )保持为原图像的强度值。

### 4.3 天空彩色化

从先验知识知道,天空通常为蓝色,本文把天空的色调值定为 160。因为原图像天空强度值非常小,如果和树木一样保持强度值不变,将会使得天空的色调和饱和度变化体现不明显,所以为天空区域设定强度值  $I_s$  为常数,只改变天空的饱和度  $S_s$ ,用天空的深度值来体现,表示为

$$S_s(x, y) = d_s(x, y), \quad I_s(x, y) = c, \quad (11)$$

式中  $S_s(x, y)$ 、 $I_s(x, y)$  分别为天空的饱和度和强度, $d_s(x, y)$  是由(8)式确定的天空深度, $c$  为常数,是预先设定的强度值。

## 5 实验结果

采用 4 幅大小为 324 pixel × 132 pixel 的车载红外图像作为实验对象,如图 10(a)所示,以在 AMD

Athlon(tm) II X4 645 Processor 3.10 GHz 处理器及 4.00 GB 的内存上运行的 Matlab R2011b 为平台,先选取原始图像的第  $X$  行第  $Y/2$  列的像素作为区域生长分割算法的种子点,从而提取道路区域,分割道路和天空的灰度值阈值分别设为 28 和 31,估计道路深度时取  $\omega=229$ ,4 幅图像对应的  $n=4$ ,确定天空深度时  $q=150$ ,  $m=2$ 。图 10(b)为得出的 4 幅图像对应的深度图,在视觉上的立体感与真实的场景很接近;在色彩传递部分,道路、树木和天空的色调值分别设为 0、83、160,  $c=224$ 。图 11 为结合深度信息对图 10(a)进行彩色化的结果,场景的色彩接近现实的景物,易于人眼识别,图 11 中 4 幅图像运算时间分别为 0.4212、0.3900、0.3276、0.5148 s。

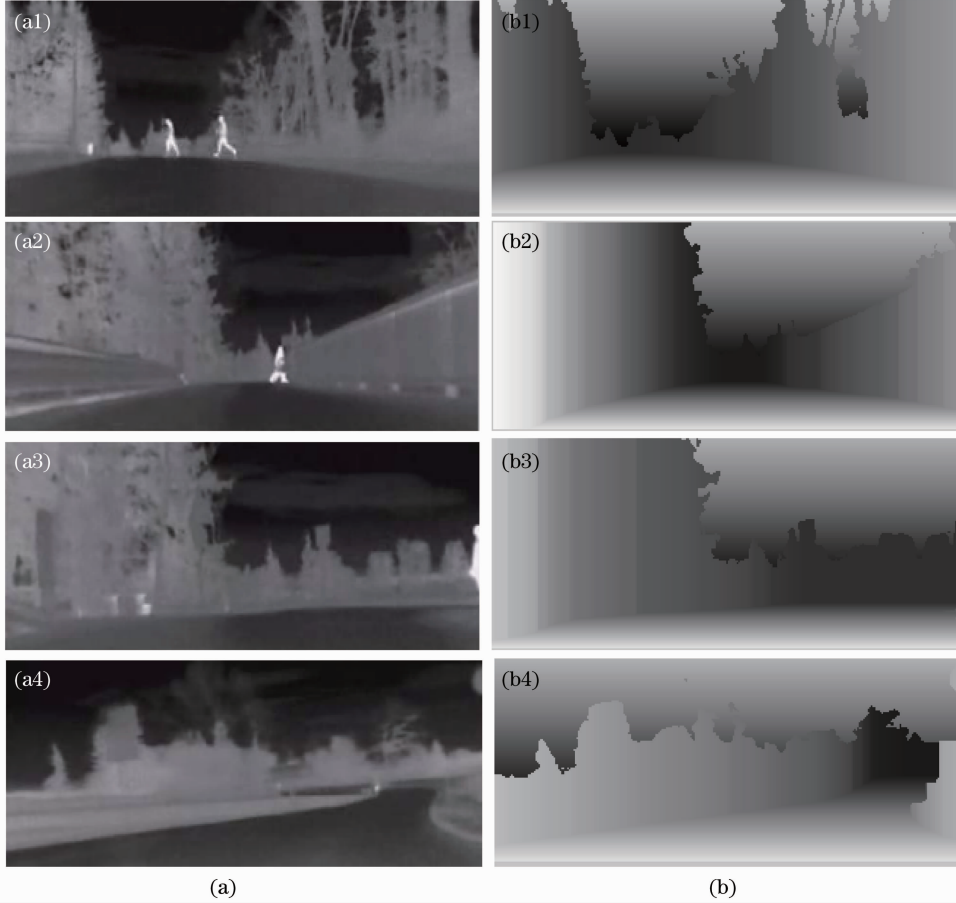


图 10 (a1)~(a4)原始车载红外图像;(b1)~(b4)估计的深度图像

Fig. 10 (a1)~(a4) Original vehicular infrared images; (b1)~(b4) images with estimated depth

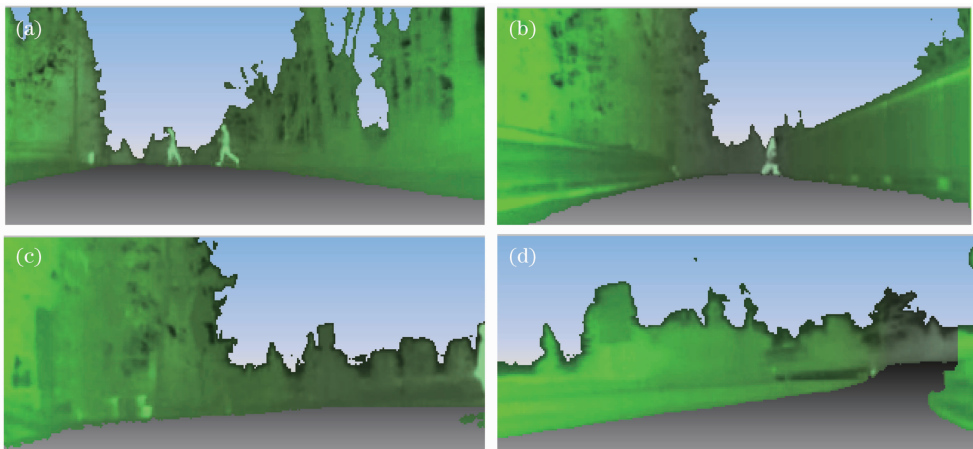


图 11 车载红外图像结合深度信息彩色化的结果

Fig. 11 Results of transferring colors with depth information to the vehicular infrared images

## 6 结 论

本文提出了一种具有立体视觉感的车载红外图像彩色化实现方法。采用区域生长的方法(种子点的选取特别重要)把待处理的车载红外图像分为天空、道路和树木 3 类,然后对这 3 个类别分别进行深度估计,最后把深度与色彩信息相结合,得到具有立体视觉感的彩色图像。实验结果证实了该方法的有效性。

### 参 考 文 献

- 1 Li Huizhuo, Fan Yong, Tang Jun *et al.*. A region histogram method for infrared image enhancement [J]. *Application Research of Computers*, 2012, **29**(2): 772~774  
李绘卓, 范 勇, 唐 峻 等. 一种区域多直方图红外图像增强方法[J]. 计算机应用研究, 2012, **29**(2): 772~774
- 2 Zhang Li, Jia Hongyun, Liu Tao *et al.*. Spatial performance study of perspective in the building sketch[J]. *J. Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2008, **39**(1): 129~132  
张 丽, 贾红云, 柳 涛 等. 透视学在建筑速写中的空间表现研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008, **39**(1): 129~132
- 3 Wu Jiangwei, Sun Shaoyuan, Zhang Chunqian. A method for color of night vision video[J]. *Microcomputer Information*, 2010, (30): 188~189  
武江伟, 孙韶媛, 张春潜. 一种用于夜视视频的彩色化方法[J]. 微计算机信息, 2010, (30): 188~189
- 4 Tomihisa Welsh, Michael Ashikhmin, Klaus Mueller. Transferring color to greyscale images[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2002, **21**(3): 277~280
- 5 Jiang Jing, Zhang Xuesong. Depth estimation method based on computer vision[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2011, **26**(1): 51~55  
江 静, 张雪松. 基于计算机视觉的深度估计方法[J]. 光电技术应用, 2011, **26**(1): 51~55
- 6 A. P. Pentland. A new sense for depth of field[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1987, **9**(4): 523~531
- 7 Ashutosh Saxena, Sung H. Chung, Andrew Y. Ng. 3-D depth reconstruction from a single still image[J]. *Computer Vision*, 2008, **76**(1): 53~69
- 8 Jae-Il Jung, Yo-Sung Ho. Depth map estimation from single-view image using object classification based on Bayesian learning[C]. Proc. 3DTV Conference, 2010
- 9 Jin Lisheng, Wang Rongben, Gao Long *et al.*. Intelligent vehicle shadow path for image segmentation based on region growing method[J]. *J. Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2006, **36**(s1): 132~135  
金立生, 王荣本, 高 龙 等. 基于区域生长的智能车辆阴影路径图像分割方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2006, **36**(s1): 132~135
- 10 Xiaojing Gu, Shaoyuan Sun, Jian'an Fang. Color night vision imagery for depth perception[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, **7**(5): 396~399