

# 基于全景鸟瞰视图的障碍物检测方法研究

常嘉义<sup>1,2</sup> 秦瑞<sup>1,2</sup> 李庆<sup>1,2</sup> 陈曦<sup>2,3</sup> 徐坚俊<sup>3</sup>

(中国科学院微电子研究所 北京 100871)<sup>1</sup> (中科院微电子所昆山分所 昆山 215347)<sup>2</sup>

(中国科学院无锡物联网研究发展中心 无锡 214135)<sup>3</sup>

**摘要** 目前,车载环视系统的障碍物检测大多采用基于特征的方法,主要针对车辆和行人等特定障碍物,不能完全消除障碍物对车辆行驶安全的威胁。采取基于运动的方法检测所有高于地面的障碍物。建立了平坦路面上的车辆运动模型,使用逆投影变换,推导出车辆运动参数、障碍物点高度和对应像素光流的关系。根据车载环视系统中相邻摄像头生成的俯视图存在重叠区域、重叠区域的障碍物特征点存在两个不同的光流矢量的特点,快速筛选出相交区域中的障碍点,并加速最优车辆运动参数的求取。最后使用运动参数生成运动补偿图像,检测图像中的所有障碍物点。实际道路测试证明,提出的算法在常规的路面环境下,能有效地标记出行驶过程中高于地面的所有障碍物。

**关键词** 车载环视系统,逆投影变换,光流运动,自车运动估计

**中图分类号** TP751.1 **文献标识码** A

## Research of Obstacle Detection Based on Aerial Panorama Image

CHANG Jia-yi<sup>1,2</sup> QIN Rui<sup>1,2</sup> LI Qing<sup>1,2</sup> CHEN Xi<sup>2,3</sup> XU Jian-jun<sup>3</sup>

(Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100871, China)<sup>1</sup>

(Kunshan Department, Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Kunshan 215347, China)<sup>2</sup>

(Chinese Internet of Things Center, Chinese Academy of Sciences, Wuxi 214135, China)<sup>3</sup>

**Abstract** At present, feature-based method is used to detect vehicles and pedestrians of panorama images, can not avoid all the threats of obstacles to driving. Different from the method above, we detected all the obstacles taller than the ground plane using motion-based method. First, we built the vehicle motion model, then deduced the relationship of vehicle motion, obstacle height and pixel optical-flow. Taking advantage of the fact that vertical views of adjacent cameras overlap each other and obstacle points in overlapping region have two different optical flows, we detected obstacles in intersection areas, fastened the solving of optimal motion parameters. At last, we detected all the obstacles using the motion compensated image. The vehicle experiments on the road demonstrate that the method proposed by us can detect all the obstacles taller than the ground effectively when vehicles are on the flat road.

**Keywords** Vehicle around view system, Inverse projection transformation, Optical-flow, Ego-motion estimation

## 1 前言

车载环视辅助驾驶系统近年来受到人们的高度重视,其利用安装在车辆四周的广角摄像头,通过图像变换重构车辆以及周围场景生成全景鸟瞰视角图像。驾驶员可以借此安全泊车、避开障碍物和消除视觉盲区,达到安全行车的目的。通过全景鸟瞰视角图像检测车行线、障碍物等能主动获取车辆行驶过程中的道路环境信息,并对危险提前预警,对驾驶员及车辆提供更佳的主动防护。

车载环视系统经过图像采集、畸变校正、IPM变换等步骤生成鸟瞰视角的全景图像<sup>[1,12]</sup>,如图1(a)所示。同时,相

邻摄像头的俯视图存在相交区域,需要采取一定的方法将其融合。在鸟瞰视角全景图像中检测障碍物具有直观、快速、方便定位的优点。

目前车载环视系统主要提供全景影像,结合测距雷达检测障碍物。2013年,富士通公司推出360°全景3D行车辅助系统Omni View<sup>[6]</sup>,使用基于特征的方法,实现汽车、行人等障碍物接近检测功能,提醒驾驶员注意行驶安全。

障碍物检测算法主要分为基于特征的方法<sup>[8,9]</sup>(利用特定目标物的轮廓、颜色、纹理等特征)、基于立体视觉的方法<sup>[10-14]</sup>(三维重建)和基于运动的方法。基于特征的方法利用纹理、轮廓、颜色等特征检测特定目标物,不适合检测未知

本文受汽车移动物联网总体技术研究(2012ZX03005018),智能交通创新服务系统(XDA06040300),国家自然科学基金 NSFC:面向“智慧工厂”的视觉目标检测和智能决策研究(61303174),面向智慧交通的车联网高安全性内容保障技术研究与核心产品研发(2012B0910),广东省教育部产学研结合项目资助。

常嘉义(1987-),男,硕士,主要研究方向为图像处理, E-mail: changjiy7628@126.com; 秦瑞(1985-),男,硕士,主要研究方向为模式识别; 李庆(1972-),研究员,主要研究方向为传感器融合; 陈曦(1989-),女,硕士生,主要研究方向为物联网技术; 徐坚俊(1979-),助理研究员,主要研究方向为车联网和智能终端。

类型的障碍物。基于立体视觉的方法采用双目或者多目相机利用视差实现三维重建检测静止和移动的行人,运算量较大,实时性不高。

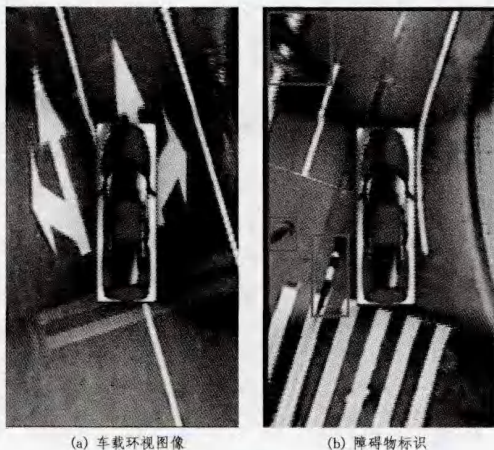


图1 车载环视图像和障碍物检测

基于运动的方法主要利用序列图像通过光流分析提取障碍物。实际光流值与通过摄像机与地面相对运动计算的期望光流相差较大的点,即为障碍物点。在 Matthews 和 Greenway 的论文<sup>[2]</sup>中,假定已知摄像头坐标系和地面坐标系的相对关系,并能从速度计中获取车辆速度信息,由此可以得到每个像素的期望光流。Krüger W<sup>[3]</sup>建立了车辆运动参数与像素光流的关系,并使用扩展 kalman 方法<sup>[4]</sup>优化运动参数和排除非地面特征点。加州大学计算机视觉和机器人研究实验室采用在车辆顶端放置广角摄像头的方案,建立摄像头双曲面模型,并将其融入计算车辆运动参数与畸变图像光流运动的关系方程中,使用扩展 kalman 滤波优化运动参数,设定阈值排除非平面点<sup>[5,7]</sup>。

本文采用基于运动的方法检测障碍物,建立车辆运动模型,并推导出车辆运动参数、障碍物点高度和对应像素光流的关系,独创性地利用车载环视图像相交区域障碍物点存在两个不同的光流矢量的特征,加速最优运动参数的求取,并最终得到图像中的障碍物区域。本文提出的运动参数估计方法还可以为 3D 行车辅助系统基于运动障碍物检测方法提供更佳的车辆运动参数,结合 3D 全景视图生成模型,检测 3D 全景图中的障碍物。本文提出的基于运动的障碍物检测算法的具体流程如图 2 所示。

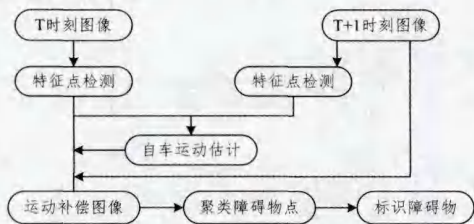


图2 基于运动的障碍物检测算法流程

## 2 3D 空间点俯视图投影

空间中的点经过透视投影变换到校正图中,然后校正图和俯视图之间通过一个透视变换矩阵联系起来。在由校正图到俯视图的变换矩阵求取过程中,我们假设 3D 空间点全部来自于地面平面,但实际上,车载环视图像中存在许多高于地

面障碍物的投影点像素,这与我们之前的假设不符。因此,高于地面物体的投影存在扭曲形变,所以我们首先需要估计任意点  $P(X_w, Y_w, Z_w)$  在俯视图像中的投影。

四路摄像头是随着车辆运动的,原始图像也会随着汽车变化,车载环视系统中最终生成的俯视图角图像是以车辆图像为中心的。为了方便处理,我们假设 3D 世界坐标系以车辆为中心,且坐标系标架会随着汽车的运动而变动。

设 3D 空间中任意一点为  $P$ ,那么  $P$  在摄像头  $O_c$  图像像素坐标系下的坐标  $p_c(u, v)$  和汽车坐标系下坐标  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  的关系为:

$$z_c p_c = z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = KM_0 P_w = MP_w \quad (1)$$

在由校正图像到俯视图的透视变换过程中,我们假设 3D 空间中的点都来自于地面,即其汽车坐标系坐标  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  中  $Z_w=0$ ,则  $p_c(u, v)$  点来自于一个虚拟的 3D 空间中的地面点  $P_w'(X_w', Y_w', Z_w')$ ,则有  $z_w'=0$ :

$$z_c' p_c = MP_w' \quad (2)$$

如图 3 所示,3D 空间点  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  首先投影到校正图平面点  $p_c(u, v)$ ,由于逆投影变换假设(即 3D 空间中的点都来自于道路平面),透视变换时,则认为其是地面点  $P_w'(X_w', Y_w', Z_w')$  生成的点  $p_c(u, v)$ ,点  $P_w'(X_w', Y_w', Z_w')$  在虚拟摄像头中的投影为  $p_v(u_v, v_v)$ ,即  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  最终可得到在虚拟摄像头图像像素坐标系下的坐标  $p_v(u_v, v_v)$ 。

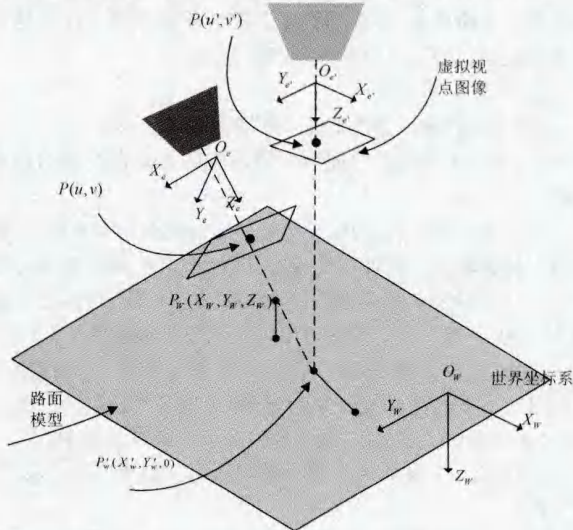


图3 3D 空间点俯视图投影示意图

假设摄像头光心  $O_c$  的坐标为  $(x_{c0}, y_{c0}, z_{c0})$ ,显然  $RO_c + t = 0$ ,即  $O_c = R^{-1}t$ 。

综合式(1)和式(2),我们可以得出  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  和  $P_w'(X_w', Y_w', Z_w')$  的对应关系:

$$\begin{bmatrix} X_w' \\ Y_w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{z_{c0}}{z_{c0} - Z_w} X_w - \frac{x_{c0}}{z_{c0} - Z_w} Z_w \\ \frac{z_{c0}}{z_{c0} - Z_w} Y_w - \frac{y_{c0}}{z_{c0} - Z_w} Z_w \end{bmatrix} \quad (3)$$

可以看出,当  $Z_w=0$  时,  $X_w'=X_w, Y_w'=Y_w$ 。当  $Z_w \neq 0$  时,  $X_w'$  的坐标由 3D 点  $P_w$  和  $O_c$  联合决定,而且,坐标  $P_w$

$(X_w, Y_w, Z_w)$  和  $P_w'(X_w', Y_w', Z_w')$  并不存在线性关系。

下一步,我们计算点  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  在俯视图图像中的坐标  $p_v(u_v, v_v)$ 。虚拟摄像头坐标光轴  $Z_c$  垂直向下,高度为  $z_0$ ,而  $X_c$  和  $Y_c$  与汽车坐标系  $X_w$  和  $Y_w$  平行且方向相同,那么汽车坐标系和虚拟摄像头坐标的关系为:

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

最终得到的俯视图像素坐标系坐标为:

$$Z_v \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = K_v P_w \quad (5)$$

综合式(3)一式(5)可以得出,3D空间中任意一点的汽车坐标系坐标  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  与俯视图像素坐标系坐标  $p_v(u_v, v_v)$  的关系为:

$$\begin{bmatrix} u_v \\ v_v \end{bmatrix} = \frac{1}{z_0} \begin{bmatrix} a_x & 0 \\ 0 & a_y \end{bmatrix} \left( \frac{z_0}{z_0 - Z_w} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} - \frac{Z_w}{z_0 - Z_w} \begin{bmatrix} x_{c0} \\ y_{c0} \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} \frac{a_x x_0}{z_0} + u_0 \\ \frac{a_y y_0}{z_0} + v_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3 车辆运动模型

自车运动是3D世界中的刚体运动,在建立运动模型中需要相对参照物,而通常情况下自车是在路面上运动的,因此本文是基于路面在3D中是固定不变的前提假设下建立的自车运动模型。为了处理的方便,我们假设:

- (1)道路是平坦的;
- (2)不同时刻摄像机坐标系变换为刚体变换;
- (3)车辆运动由油门控制的加速度和方向盘控制的角速度决定。

基于上述假设,我们假设车辆的运动模型如图4所示,我们以车辆转动时转动轴与地面的交点(摄像机坐标系坐标为  $(-x_0, -y_0)$ )为坐标系原点,车头方向为  $Y$  轴方向,车身右侧方向为  $X$  轴方向。若在  $T$  时刻,汽车坐标系为  $O(X, Y, Z)$ ,  $Z$  轴通过  $O$  点垂直向上,此时汽车的速度为  $v$ ,角速度为  $\omega$ ,那么  $T+1$  时刻的汽车坐标系为  $O'(X', Y', Z')$ 。可以算出,任意一固定点  $P$  在  $T$  时刻的汽车坐标系下坐标  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  与  $T+1$  时刻汽车坐标系下坐标  $P_w(X_w'', Y_w'', Z_w'')$  的关系为:

$$\begin{bmatrix} X_w'' \\ Y_w'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\omega\Delta t & -\sin\omega\Delta t \\ \sin\omega\Delta t & \cos\omega\Delta t \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v\Delta t \sin\omega\Delta t \\ v\Delta t \cos\omega\Delta t \end{bmatrix} \right) \quad (7)$$

设  $T+1$  时刻的  $P_w(X_w'', Y_w'', Z_w'')$  的俯视图投影为  $p_v(u_v'', v_v'')$ ,  $T$  时刻的光流矢量  $(\Delta u_v, \Delta v_v) = (u_v'' - u_v, v_v'' - v_v)$ 。

将上式的三角函数泰勒展开,去掉  $o(\Delta t)$  项,得到像素坐标和光流矢量的关系为:

$$\begin{bmatrix} \Delta u_v \\ \Delta v_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{a_x w}{a_y} & \frac{a_x c_x w}{a_y} \\ \frac{a_y w}{a_x} & 0 & -\frac{a_y c_x w}{a_x} - \frac{z_0 v a_y}{z_0(z_0 - Z_w)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} \Delta t$$

$$+ \frac{Z_w}{z_0(z_0 - Z_w)} \begin{pmatrix} 0 & -a_x w \\ a_y w & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{c0} \\ y_{c0} \end{pmatrix} \Delta t = A \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} \Delta t + \frac{Z_w}{z_0(z_0 - Z_w)} B \begin{pmatrix} x_{c0} \\ y_{c0} \end{pmatrix} \Delta t \quad (8)$$

从式(8)可以看出,当  $Z_w=0$  时,  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$  与  $(u_v, v_v)$  存在线性关系,但当  $Z_w \neq 0$  时,  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$  与  $(u_v, v_v)$  存在一个非线性的附加项。

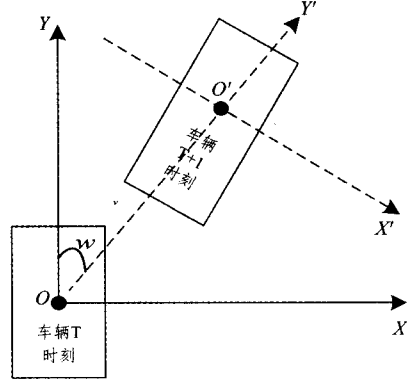


图4 车辆运动模型

### 4 自车运动估计

根据上节,若已知  $t$  时刻车辆运动参数  $(v_t, \omega_t)$ ,则计算式(8)中的  $A$ ,计算  $T$  时刻图像  $I_t$  的 warp 图像  $\hat{I}_t = AI_t$ ,然后计算  $\hat{I}_t$  与  $I_{t+1}$  的残差图像  $I_{diff}$ :

$$I_{diff} = I_{t+1} - \hat{I}_t \quad (9)$$

显然,对于  $I_{diff}$  中的任意点  $(u, v)$ ,若  $I_{diff}(u, v) > 0$ ,则该点即为障碍物点。

因此,需要估计车辆的运动参数,在 Matthews 和 Greenway 的论文中,假定已知摄像头坐标系和地面坐标系的相对关系,并能从速度计中获取车辆速度信息,那么可以得到每个像素的期望光流。但速度仪等机械传感器获得的自车运动速度等信息往往精度和频率都不高,难以达到实际应用需求。

#### 4.1 使用俯视图相交区域估计运动参数

当  $(u_v, v_v)$  处于相交区域时,即同时有两路摄像头图像逆投影变换到该区域,假设这两路摄像头位置为  $O_c'$  和  $O_c''$ ,那么  $(u_v, v_v)$  在两路重叠的俯视图中的光流  $(\Delta u_v', \Delta v_v')$  和  $(\Delta u_v'', \Delta v_v'')$  为:

$$\begin{bmatrix} \Delta u_v' \\ \Delta v_v' \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} \Delta t + \frac{Z_w}{z_0(z_0 - Z_w)} B \begin{pmatrix} x_{c0}' \\ y_{c0}' \end{pmatrix} \Delta t \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta u_v'' \\ \Delta v_v'' \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} \Delta t + \frac{Z_w}{z_0(z_0 - Z_w)} B \begin{pmatrix} x_{c0}'' \\ y_{c0}'' \end{pmatrix} \Delta t \quad (11)$$

若  $(u_v, v_v)$  隶属于地面点 ( $Z_w=0$ ),那么  $(\Delta u_v', \Delta v_v')$  和  $(\Delta u_v'', \Delta v_v'')$  相等,否则,根据式(8)第二项,  $(\Delta u_v', \Delta v_v')$  和  $(\Delta u_v'', \Delta v_v'')$  不相等。因此,对于相交区域,我们可以使用较为简单的判别方法:

$$(u_v, v_v) = \begin{cases} \text{非障碍物, } |(\Delta u_v', \Delta v_v') - (\Delta u_v'', \Delta v_v'')| < T \\ \text{障碍物, } |(\Delta u_v', \Delta v_v') - (\Delta u_v'', \Delta v_v'')| \geq T \end{cases} \quad (12)$$

其中,  $T$  为一个特定的阈值, 根据实际情况选取。

对于非障碍物点, 由式(8)可知  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$  与运动参数  $(v, \omega)$  存在线性关系, 即:

$$\begin{bmatrix} \Delta u_v \\ \Delta v_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{a_x}{a_y}(v_v - c_y) & 0 \\ \frac{a_y}{a_x}(u_v - c_x) & -\frac{z_{c0} a_y}{z_{c0}(z_{c0} - Z_w)} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (13)$$

使用最小二乘估计, 已知  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$  和  $(u_v, v_v)$  可以求出运动参数  $(v, \omega)$ 。且根据式(8), 对于障碍物点, 还可以求出其高度  $Z_w$ 。

#### 4.2 运动参数的优化

实际情况中, 相交区域通常较小, 且处于鱼眼图像中的边缘区域, 校正效果有限, 而且有时可能检测不到特征点, 因此根据相交区域求得的运动参数需要进一步优化。优化算法如下所示。

①计算  $T$  时刻车载环视图像所有特征点的光流(使用 Harris, SIFT 等检测算法), 初始化  $S = \emptyset$ ;

如图 5 所示, 左侧为  $T$  时刻的图像, 右侧为  $T+1$  时刻的图像, 图中直线连接的两个端点为两幅图像的对应点, 两个点相减所得的矢量即为对应点的光流, 原始俯视图中有许多伪匹配对应点, 使用 RANSAC 等方法处理之后, 剩下的点对即为正确的对应点。

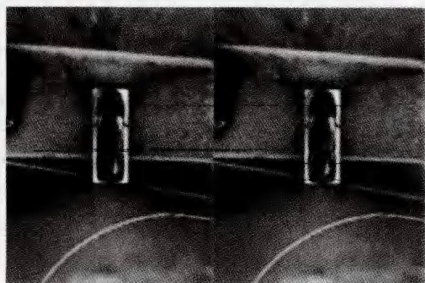


图 5 车载环视图像的光流

②若  $T$  时刻的相交区域存在特征点, 那么根据式(12)筛选出非障碍物点, 并记录该点的坐标值  $(u_v, v_v)$  和光流  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$ , 并将其加入集合  $S$  内。

③计算  $T-1$  时刻的非障碍物特征点在  $T$  时刻的对应特征点  $(u_v, v_v)$ , 将  $(u_v, v_v)$  值和其光流值  $(\Delta u_v, \Delta v_v)$  加入集合  $S$  内。使用集合  $S$  内的光流矢量和坐标信息计算运动参数  $(v_t', \omega_t')$ , 并和  $T-1$  时刻的最优值  $(v_{t-1}, \omega_{t-1})$  加权平均, 得到新的  $(\bar{v}_t, \bar{\omega}_t)$  值:

$$(\bar{v}_t, \bar{\omega}_t) = \alpha(v_{t-1}, \omega_{t-1}) + (1 - \alpha)(v_t', \omega_t') \quad (14)$$

④以  $(\bar{v}_t, \bar{\omega}_t)$  为中心, 搜索  $(\bar{v}_t, \bar{\omega}_t)$  的邻域  $R$ , 对于  $\forall (v, \omega) \in R$ , 计算式(8)中的  $A$  和  $T$  时刻的 warp 图像  $\hat{I}_t$ , 并联合  $T+1$  时刻的图像  $I_{t+1}$  计算残差平方和  $SSD$ (这里假设道路平面  $R$  包括图像中所有点, 当俯视图中大部分是地面点时, 这个假设是合适的), 取残差平方和  $SSD$  最小时的  $(v_t, \omega_t)$  作为  $T+1$  时刻的最优值。其中残差平方和  $SSD$  为:

$$S(m) = \frac{1}{N} \sum_{u,v \in R} [I_{t+1}(u,v) - \hat{I}_t(u,v)]^2 \quad (15)$$

⑤根据最优的  $(v_t, \omega_t)$  值, 计算  $T$  时刻车载环视图像所有特征点的高度, 并筛选出非障碍物特征点。

## 5 基于车载环视图像的障碍物检测

根据第 4 节求得的最优  $(v_t, \omega_t)$  值, 计算式(9)中的  $I_{diff}$ 。规定一个阈值  $T$ , 当  $I_{diff} > T$  时, 将该点标示为障碍物。

如图 6 所示, 当  $T$  取不同值时, 有不同的检测结果,  $T$  值越大, 则障碍物点越少。

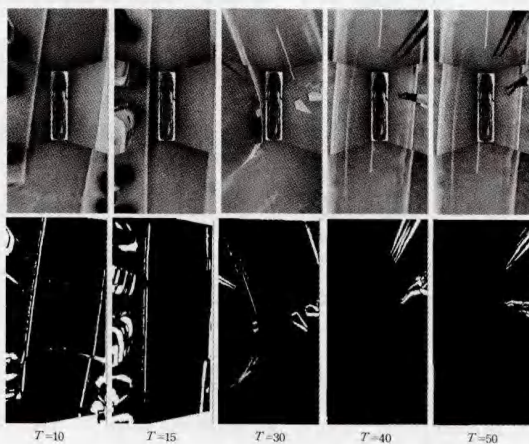


图 6 障碍物检测结果

如图 6 所示, 障碍物检测结果中存在许多孤立点和不连续的点簇, 需要采取方法去除孤立的噪声点, 并聚类属于同一物体的障碍物点。

综合距离、纹理、颜色等相似度指标, 可以将孤立的点聚成多个类, 并使用区域生长算法将属于一个类的点扩展为一个区域, 标示出该障碍物区域, 即得到最终的障碍物检测结果图。

**结束语** 车载环视辅助驾驶系统生成的全景鸟瞰视角图像能够为驾驶员提供车辆周围场景的实时、直观、全面的信息, 而基于全景鸟瞰视角图像的障碍物检测则是在车辆周围场景重现的基础上为驾驶员主动提供障碍物信息并实时预警, 驾驶员在疏忽大意时也能得到安全的防护。本文首先概括介绍了障碍物检测技术中的常用方法, 之后针对全景鸟瞰视角序列图像提出基于运动的障碍物检测方法: 首先, 计算出任意 3D 空间点在俯视图中的投影点; 之后, 建立适用于城市平坦道路环境的车辆运动模型; 接着, 推导出车辆运动参数与像素光流矢量的关系, 利用相交区域像素在两个不同摄像头下的两个光流, 帮助求解最优的车辆运动参数, 而通过最优的车辆运动参数, 可以检测出高于地面的障碍物。最后的实验表明, 本文提出的障碍物检测方法能够有效地检测出全景鸟瞰视角图像中的障碍物。

## 参考文献

- [1] Stein G P, Mano O, Shashua A. A robust method for computing vehicle ego-motion [C] // Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2000 (IV 2000). IEEE, 2000: 362-368
- [2] Matthews N D, Greenway P. A Mathematical Framework for Robust Obstacle Detection Using Feature Matching [C] // Charnley D (ed) 1st IFAC International Workshop on Intelligent Autonomous Vehicles IAV, 1993: 18-21
- [3] Krüger W. Robust real-time ground plane motion compensation

from a moving vehicle[J]. Machine Vision and Applications, 1999, 11(4): 203-212

- [4] Bar-Shalom Y, Li X R, Kirubarajan T. Estimation with applications to tracking and navigation: theory algorithms and software [M]. John Wiley & Sons, 2004
- [5] Gandhi T, Trivedi M. Motion analysis of omni-directional video streams for a mobile sentry[C]// First ACM SIGMM international workshop on Video surveillance. ACM, 2003: 49-58
- [6] FUJITSU[OL]. <http://www.fujitsu.com/us/semiconductors/gdc/products/omni.html>
- [7] Gandhi T, Trivedi M. Motion based vehicle surround analysis using an omni-directional camera[C]// Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE. IEEE, 2004: 560-565
- [8] Broggi A, Bertozzi M, Fascioli A, et al. Shape-based pedestrian detection[C]// Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles

Symposium. 2000: 215-220

- [9] Shashua A, Gdalyahu Y, Hayun G. Pedestrian detection for driving assistance systems: Single-frame classification and system level performance[C]// Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE. IEEE, 2004: 1-6
- [10] Bertozzi M, Broggi A. GOLD: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(1): 62-81
- [11] 丁鑫. 全景视觉泊车辅助系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010
- [12] 鲁斌, 秦瑞, 李庆, 等. 车载环视拼接方法的研究[J]. 计算机科学, 2013, 40(9): 293-295
- [13] 赵逢. 基于单目视觉的后方障碍物检测算法的研究与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2008
- [14] 王红伟. 基于单目视觉三维重建的障碍物检测算法的设计与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2008

(上接第 71 页)

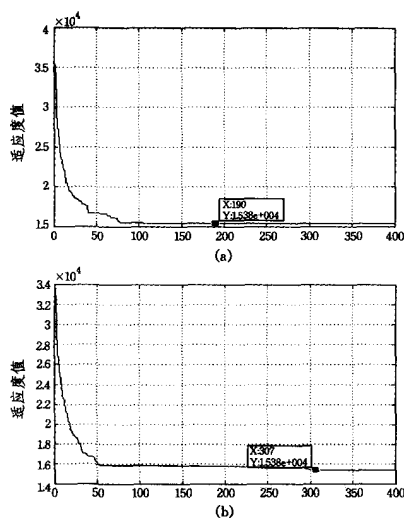


图 7 IPSO 算法适应度值变化曲线

同样将 IPSO 算法与 ACA 算法和传统 PSO 算法对大样本 TSP 问题求解结果进行比较, 比较结果如表 4 所列。表 4 表明: 在 10 次求解中, IPSO 算法都能获得全局最优解, 而 ACA 算法和 PSO 算法只能获得局部最优解, 这是由于 ACA 算法和 PSO 算法全局搜索能力差, 易陷入某一局部最优位置无法跳出, 且众多可调参数和初始位置的随机性, 导致每一次求解都可能获得不一样的最优值<sup>[12]</sup>。针对 ACA 和 PSO 算法存在的缺陷, IPSO 算法提出相应的应对策略, 从而很好地解决了这类缺陷, 使其具有更高的应用价值。

表 4 实验结果对比表

计算方法	求解次数	最优解次数	最优解值	平均值
IPSO	10	10	15377.7113	15377.7113
PSO	10	1	16944.3547	18267.6424
ACA	10	6	15601.9195	15818.4354

**结束语** 本文提出利用 IPSO 算法求解不同样本 TSP 问题的最优遍历路径, 在小样本 TSP 问题求解中, 各算法求解性能差距不大, 基本能获得全局最优解。但在大样本 TSP 问题求解中, 传统算法易获得局部最优解, 且受众多可调参数和

初始位置随机设置的影响, 解具有很强的随机性, 因此 IPSO 算法通过采取粒子自适应更新来拓展搜索空间, 确保完成对整个解空间的搜索, 同时利用继承式判断机制来确保获得全局最优解。通过对比实验研究, 且与传统的 PSO 和 ACA 算法进行比较, 验证了 IPSO 算法在大样本 TSP 问题求解中的有效性和稳定性, 表明 IPSO 算法在解决大规模寻优问题中具有突出的全局寻优能力, 因此其具有更高的实际使用价值。

## 参考文献

- [1] Meer K. Simulated Annealing Versus Metropolis for a TSP Instance[J]. Information Processing Letters, 2007, 12: 216-219
- [2] 张辉, 赵正德, 杨立朝, 等. TSP 问题的算法与应用研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(4): 274-276
- [3] 王剑文, 戴光明, 谢柏桥, 等. 求解 TSP 问题算法综述[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(2): 72-74
- [4] 谷文祥, 李向涛, 王春颖, 等. 一种求解 TSP 问题的混合算法[J]. 东北师范大学: 自然科学版, 2011, 43(3): 60-64
- [5] Shi X H, Liang Y G, Lee H P, et al. Particle Swarm Optimization-based Algorithms for TSP and generalized TSP [J]. Information Processing Letters, 2007, 8: 169-176
- [6] Venter Sobieszcanski-sobieski J. Particle swarm optimization [J]. AIAA Journal, 2003, 41(8): 1583-1589
- [7] 郑波. 基于 PSO-SVM 的民航发动机送修等级决策研究[J]. 推进技术, 2013, 34(5): 68-69
- [8] Eberhart R, Shi Yu-hui. Particle swarm optimization: Developments applications and resources[C]// Proc IEEE Int Conf on Evolutionary Computation. Seoul 2001 : 81-86
- [9] 陈文兰, 戴树贵. 旅行商问题算法研究综述[J]. 滁州学院学报, 2006, 8(3): 1-6
- [10] 史峰, 王辉, 郁磊, 等. MATLAB 智能算法——30 个案例分析 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011
- [11] Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant Colony Optimization[J]. Computational Intelligence Magazine, 200, 61(4): 28-39
- [12] Misevicius A. A tabu search algorithm for the quadratic assignment problem [J]. Computational Optimization and Applications, 2005(30): 95-111