

# 基于鱼眼相机的自运动参数异步估计

于红绯, 刘 威, 袁 淮, 赵 宏

(东北大学信息科学与工程学院, 辽宁沈阳 110819)

**摘 要:** 自运动参数估计是辅助驾驶、机器人导航等领域的核心问题之一. 本文提出了一种适用于鱼眼相机的自运动参数异步估计方法. 该方法通过特征分类及虚拟面投影, 对旋转运动参数和平移运动参数分步估计. 解决了以往算法中, 旋转参数和平移参数同时估计时, 二者相互影响的问题, 提高了估计精度. 本文首先利用平台运动特性简化相机运动模型, 并根据不同距离不同位置的景物对运动参数估计的作用, 对背景特征进行分类. 分析并推导了各类特征的运动规律. 然后根据运动规律, 利用远处背景及一般背景特征估计旋转运动参数, 利用地面特征估计平移运动参数. 实验结果表明, 本文方法不易受光照和干扰点影响, 同一些经典方法相比, 本文方法更具准确性和鲁棒性.

**关键词:** 自运动参数; 异步估计; 运动向量; 单目视觉; 鱼眼相机

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2013)09-1831-05

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.09.026

## Ego-Motion Asynchronous Estimation Based on Fish-Eye Camera

YU Hong-fei, LIU Wei, YUAN Huai, ZHAO Hong

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China)

**Abstract:** Ego-motion parameter estimation is one of the key problems in driver assistance and robot navigation, etc. An asynchronous estimation method which is applicable to fish-eye camera is proposed. The method estimates rotation parameters and translation parameters respectively based on feature classification and virtual plane projection. It solves the problem in the previous algorithms that rotation parameters and translation parameters influence each other when estimating at the same time, and improves the estimation accuracy. Firstly, camera motion model is simplified with platform motion characteristics, and background features from different distances and positions are classified according to their roles in motion estimation. The motion laws of features in each class are analyzed and induced. And then according to the laws, the distant background features and general background features are used to estimate the rotation parameters, and ground features are used to estimate the translation parameters. The experimental results show that the proposed method is less influenced by illumination or outliers, and more accurate and robust than some traditional methods.

**Key words:** ego-motion parameter; asynchronous estimation; motion vector; monocular vision; fish-eye camera

## 1 引言

基于视觉的汽车辅助驾驶、机器人导航等应用越来越成为计算机视觉领域的研究热点<sup>[1]</sup>. 自运动参数估计在此类问题中常常具有重要意义<sup>[2,3]</sup>. 虽然利用速度传感器等可直接获得运动参数, 但这样获得的参数往往存在延时, 不能满足实时算法需要, 且增加成本, 还带来传感器配准问题. 因此利用图像特征进行自运动参数估计变得非常重要<sup>[4]</sup>. 另一方面, 鱼眼相机以其成像视角大的优点在计算机视觉领域应用越来越广泛, 但也存在成像形变等问题<sup>[5]</sup>. 现有的基于图像特征的运动参数估计

方法大多针对平面相机设计, 未对鱼眼相机做过多考虑. 考虑鱼眼相机成像特性, 提出一种同时适用于鱼眼相机的运动参数估计方法是非常必要的.

现有的运动参数估计算法主要可分为基于背景特征的方法<sup>[6~8]</sup>和基于地面特征的方法<sup>[9,10]</sup>. 前者通过选择静止背景特征进行参数估计, 不用区分特征是否源于路面, 最大限度的应用了图像特征. 但往往参数过多, 不易稳定求解, 且易受运动目标及背景深度变化影响. 后者较好解决了前者存在的问题, 且模型参数较少, 求解简单. 但该类方法需确定哪些特征来自地面, 且要求特征分布均匀. 真实道路场景, 地面常常缺少纹理信息,

且可能存在车辆移动阴影等干扰,降低了该类方法的准确性.此外,现有方法旋转和平移参数同时求解,二者之间存在模糊性互相影响也造成估计结果不准确<sup>[10]</sup>.鉴于此,本文从分析图像点的运动规律出发,推导了各类图像点对参数估计的作用,通过旋转和平移参数分别求解,进行参数估计.

## 2 问题建模及点运动规律分析

为克服鱼眼相机成像形变,同时便于分析计算,采用球面投影法<sup>[11]</sup>将空间点坐标进行归一化处理.对空间中原点以外的任意一点  $P(X, Y, Z)$ , 归一化坐标  $p_s(x_s, y_s, z_s)$  为,

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} = D \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中,  $D = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ . 点  $P(X, Y, Z)$  到成像平面点  $p(u, v)$  的对应关系可写成

$$p(u, v) = G(P(X, Y, Z)) \quad (2)$$

其中  $G$  为点映射关系函数,可由文献[12]得到.式(1)、(2)建立了图像中点  $p(u, v)$  到此点空间归一化坐标间的映射关系.在后续章节中,特征点的坐标换算都是基于此进行的.

### 2.1 自运动模型建立及其简化

本文中,载有相机的移动平台(汽车、机器人等)在路上做平移和旋转运动.以相机光心为原点建立坐标系  $O-XYZ$ ,使  $Z$  轴与相机光轴重合,且与道路面平行, $Y$  轴垂直指向道路面, $X$  轴水平.设  $t-1$  和  $t$  时刻相机坐标系分别为  $O_{t-1}-X_{t-1}Y_{t-1}Z_{t-1}$  和  $O_t-X_tY_tZ_t$ , 相机运动轨迹为曲线  $C$ .  $\alpha, \beta, \gamma$  和  $T_x, T_y, T_z$  分别为相机从  $t-1$  时刻运动到  $t$  时刻经过的旋转分量和平移分量,如图1所示.对于空间中任意静止点  $P(X, Y, Z)$ , 在  $t-1$  和  $t$  时刻的坐标  $(X_{t-1}, Y_{t-1}, Z_{t-1})$  和  $(X_t, Y_t, Z_t)$  满足

$$\begin{pmatrix} X_{t-1} \\ Y_{t-1} \\ Z_{t-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_\gamma c_\beta & c_\gamma s_\beta s_\alpha - s_\gamma c_\alpha & c_\gamma s_\beta c_\alpha + s_\gamma s_\alpha \\ s_\gamma c_\beta & s_\gamma s_\beta s_\alpha + c_\gamma c_\alpha & s_\gamma s_\beta c_\alpha - c_\gamma s_\alpha \\ -s_\beta & c_\beta s_\alpha & c_\beta c_\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (3)$$

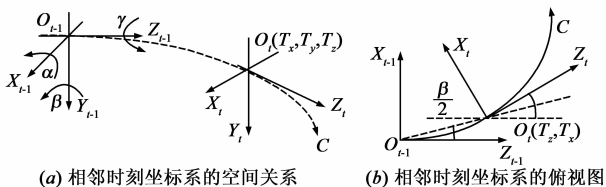


图1 相邻时刻相机坐标系示意图

其中,  $s_x \equiv \sin x, c_x \equiv \cos x$ .

上述模型中参数过多,不易稳定求解.且通常短时间内,相机运动满足道路平面假设<sup>[13]</sup>,故可令  $\alpha = 0, \gamma = 0, T_y = 0$ . 式(3)可简化为

$$\begin{pmatrix} X_{t-1} \\ Y_{t-1} \\ Z_{t-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_\beta & 0 & s_\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\beta & 0 & c_\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ 0 \\ T_z \end{pmatrix} \quad (4)$$

由于相邻帧时间间隔短,相机运动轨迹  $C$  可近似看成圆周运动<sup>[14]</sup>,因此有

$$\frac{T_x}{T_z} = \tan \frac{\beta}{2} \quad (5)$$

式(4)、(5)为简化后的相机运动模型,  $\beta, T_z, T_x$ , 为待估计运动参数.

### 2.2 特征的分类及其运动规律分析

相机运动过程中,图像中不同区域的背景点运动规律不同,可把背景点分成远处背景点,一般背景点,地面点三类(同一背景点可以属于不同类).以下,将分析并推导各类背景点与相机运动参数之间的关系.

首先,利用柱面投影法分析远处背景点.对于鱼眼图像中一点  $p$ ,其柱面投影坐标  $p_c(u, v)$  可由式(6)得

$$\begin{cases} u = u_0 + a_x \cdot \arctan \frac{x_s}{z_s} \\ v = v_0 + a_y \cdot \frac{y_s}{\sqrt{x_s^2 + z_s^2}} \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $(x_s, y_s, z_s)$  为  $p$  的归一化坐标(可由式(1)、(2)得到),  $a_x = r/dx, a_y = r/dy, r$  为投影柱面半径,  $dx, dy$  分别为投影柱面的每个像素在水平和垂直方向的尺寸,本文中  $a_x = 231, a_y = 231$ . 设点  $p$  对应的景物点为  $P$ ,其  $t-1$  和  $t$  时刻在相机坐标系中的坐标分别为  $(X_{t-1}, Y_{t-1}, Z_{t-1})$  和  $(X_t, Y_t, Z_t)$ ,  $P$  点到  $t-1$  和  $t$  时刻相机光心的欧氏距离分别为  $D_{t-1}$  和  $D_t$ , 由式(4)得,

$$\begin{pmatrix} \frac{X_{t-1}}{D_{t-1}} \\ \frac{Y_{t-1}}{D_{t-1}} \\ \frac{Z_{t-1}}{D_{t-1}} \end{pmatrix} = \frac{D_t}{D_{t-1}} \begin{pmatrix} c_\beta & 0 & s_\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\beta & 0 & c_\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{X_t}{D_t} \\ \frac{Y_t}{D_t} \\ \frac{Z_t}{D_t} \end{pmatrix} + \frac{D_t}{D_{t-1}} \begin{pmatrix} \frac{T_x}{D_t} \\ 0 \\ \frac{T_z}{D_t} \end{pmatrix} \quad (7)$$

当  $P$  距相机较远时,有  $D_t/D_{t-1} \approx 1, T_x/D_t \approx 0, T_z/D_t \approx 0$ , 由式(1)、(7)可知,

$$\begin{pmatrix} x_s^{t-1} \\ y_s^{t-1} \\ z_s^{t-1} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} c_\beta & 0 & s_\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\beta & 0 & c_\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s^t \\ y_s^t \\ z_s^t \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中,  $(x_s^{t-1}, y_s^{t-1}, z_s^{t-1})$  和  $(x_s^t, y_s^t, z_s^t)$  分别为点  $P$  在  $t-1$  和  $t$  时刻的归一化坐标. 由式(6)、(8)可得,

$$\begin{cases} u_t - u_{t-1} = a_x \cdot (\arctan \frac{x_s^t}{z_s^t} - \arctan \frac{x_s^{t-1}}{z_s^{t-1}}) \approx a_x \cdot (-\beta) \\ v_t - v_{t-1} = a_y \cdot (\frac{y_s^t}{\sqrt{(x_s^t)^2 + (z_s^t)^2}} - \frac{y_s^{t-1}}{\sqrt{(x_s^{t-1})^2 + (z_s^{t-1})^2}}) \approx 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $(u_{t-1}, v_{t-1})$  和  $(u_t, v_t)$  分别为点  $P$  在  $t-1$  和  $t$  时刻的柱面投影坐标. 由式(9)可知, 远处景物在相邻帧的柱面投影纵坐标不变, 横坐标位移由旋转参数决定. 旋转参数可由式(10)求出.

$$\beta = \frac{(u_{t-1} - u_t)}{a_x} \quad (10)$$

接下来, 利用虚拟平面投影来分析一般背景点. 为建立虚拟平面, 首先把  $t-1$  和  $t$  时刻相机坐标系分别绕  $Y$  轴旋转  $-(\beta/2)$  和  $(\beta/2)$  角度, 得到虚拟坐标系  $O_{t-1}' - X_{t-1}'Y_{t-1}'Z_{t-1}'$  和  $O_t' - X_t'Y_t'Z_t'$ , 然后分别在两个虚拟坐标系中建立虚拟平面  $Z_{t-1}' = 1$  和  $Z_t' = 1$ , 如图 2(a) 所示. 对于背景点  $P$ , 不难推出, 其在  $t-1$  和  $t$  时刻的虚拟坐标系中的归一化坐标为

$$\begin{pmatrix} x_s' \\ y_s' \\ z_s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{\beta/2} & 0 & s_{\beta/2} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{\beta/2} & 0 & c_{\beta/2} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} c_{\beta} & 0 & s_{\beta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{\beta} & 0 & c_{\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s^t \\ y_s^t \\ z_s^t \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} x_s^{t-1'} \\ y_s^{t-1'} \\ z_s^{t-1'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{\beta/2} & 0 & s_{\beta/2} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{\beta/2} & 0 & c_{\beta/2} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_s^{t-1} \\ y_s^{t-1} \\ z_s^{t-1} \end{pmatrix} \quad (12)$$

把式(11)、(12)代入式(4)中, 可得

$$\begin{pmatrix} x_s' \\ y_s' \\ z_s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_s^{t-1'} \\ y_s^{t-1'} \\ z_s^{t-1'} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T_z' \end{pmatrix} \quad (13)$$

其中,  $T_z' = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2}$ . 从式(13)可见, 在虚拟坐标系中,  $P$  点仅在  $Z$  轴有位移, 简化了运动关系. 根据式(14)把  $P$  点分别投影到虚拟平面  $Z_{t-1}' = 1$  和  $Z_t' = 1$  中, 可得投影平面坐标为,

$$\begin{aligned} (x_{t-1}', y_{t-1}', z_{t-1}') &= \frac{1}{z_s^{t-1'}} (x_s^{t-1'}, y_s^{t-1'}, z_s^{t-1}') \\ (x_t', y_t', z_t') &= \frac{1}{z_s^t} (x_s^t, y_s^t, z_s^t) \end{aligned} \quad (14)$$

由几何关系, 可知  $P$  在虚拟平面中的运动向量  $\mathbf{d}(x_t' - x_{t-1}', y_t' - y_{t-1}', z_t' - z_{t-1}')$  或  $-\mathbf{d}(x_t' - x_{t-1}', y_t' - y_{t-1}', z_t' - z_{t-1}')$  指向图像中心点, 因此,

$$f_{\text{angle}}(\mathbf{d}, \mathbf{d}_s \cdot \text{sign}(T_z)) = 0 \quad (15)$$

其中,  $\mathbf{d}_s = (x_t', y_t', 0)$ , 为参考运动向量,

$$\text{sign}(T_z) = \begin{cases} 1, & T_z > 0 \\ 0, & T_z = 0 \\ -1, & T_z < 0 \end{cases}$$

$$f_{\text{angle}}(\mathbf{d}, \mathbf{d}_s) = \arccos \frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{d}_s}{|\mathbf{d}| \cdot |\mathbf{d}_s|}$$

$\beta$  可由式(16)求出

$$\beta = \arg \min \text{median}(\{f_{\text{angle}}(\mathbf{d}^k, \mathbf{d}_s^k \cdot \text{sign}(T_z))\}) \quad (16)$$

其中,  $k \in \{1, \dots, M\}$ ,  $M$  为投影到虚拟平面中的特征点个数,  $\mathbf{d}^k, \mathbf{d}_s^k$  分别为第  $k$  个投影到虚拟平面中的特征点的运动向量及参考运动向量, 详见式(15)中的  $\mathbf{d}$  和  $\mathbf{d}_s$ .

最后, 利用平行于地面的虚拟平面投影来分析地面点. 对于地面静止点  $P$ , 我们在虚拟坐标系中建立平行于地面的虚拟平面  $y_{t-1}' = 1$  和  $y_t' = 1$  中, 如图 2(b) 所示.  $P$  在虚拟平面中的投影坐标, 可由式(17)得出.

$$\begin{aligned} (x_{t-1}', y_{t-1}', z_{t-1}') &= \frac{1}{y_s^{t-1'}} (x_s^{t-1'}, y_s^{t-1'}, z_s^{t-1}') \\ (x_t', y_t', z_t') &= \frac{1}{y_s^t} (x_s^t, y_s^t, z_s^t) \end{aligned} \quad (17)$$

设  $P$  在坐标系  $O_{t-1}' - X_{t-1}'Y_{t-1}'Z_{t-1}'$  和  $O_t' - X_t'Y_t'Z_t'$  中的坐标分别为  $(X_{t-1}', Y_{t-1}', Z_{t-1}')$  和  $(X_t', Y_t', Z_t')$ , 设相机光心由点  $O_{t-1}'$  到  $O_t'$  的运动向量为  $\mathbf{T}_0$ , 则有

$$\begin{aligned} |\mathbf{T}_0| &= \sqrt{(X_t - X_{t-1})^2 + (Y_t - Y_{t-1})^2 + (Z_t - Z_{t-1})^2} \\ &= \sqrt{(X_t' - X_{t-1}')^2 + (Y_t' - Y_{t-1}')^2 + (Z_t' - Z_{t-1}')^2} \\ &= |Z_t' - Z_{t-1}'| \\ &= H \cdot |y_t' - y_{t-1}'| \end{aligned}$$

其中,  $H$  为相机高度, 可由测量得到, 本文中  $H$  为 0.8m, 结合式(5), 有

$$\begin{cases} T_x = |\mathbf{T}_0| \cdot \sin \frac{\beta}{2} \\ T_z = |\mathbf{T}_0| \cdot \cos \frac{\beta}{2} \end{cases} \quad (18)$$

因此, 相机的平移运动参数可由式(18)求出.

综上, 远处背景点和一般背景点可用于旋转参数估计, 地面点可用于平移参数估计.

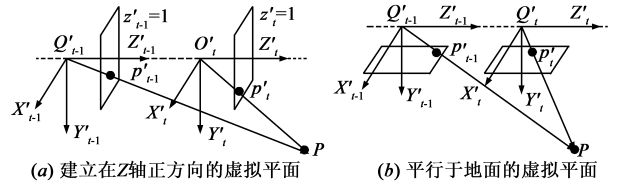


图2 虚拟平面示意图

## 3 基于分类特征的运动参数异步估计

### 3.1 旋转参数的估计

相机分辨率有限, 当景物距相机足够远时, 在图像中产生的缩放效应可忽略不计, 当景物距相机较近时, 缩放效应明显. 可利用该特性进行远处背景点检测. 设图像中所有远处背景点构成的点集为  $F$ , 可通过聚类方法得到  $F$ . 设图像点  $p_i(u_i, v_i)$  在相邻帧的柱面投影点对  $(p_i^t, p_i^{t-1})$  形成的运动向量为  $\mathbf{l}_i$ ,  $\mathbf{l}_i = (u_i - u_{i-1}^t, v_i - v_{i-1}^t)$ ,  $i \in \{1, \dots, N\}$ ,  $N$  为图像中特征点个数. 相邻帧间特征点的对应关系由文献[15]得到. 对  $\mathbf{l}_i$  聚类得到  $E_k$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ ,  $K$  为类个数. 聚类规则为  $E_k$  中任意两个

点的运动向量  $l_i, l_j$  满足:

$$\begin{cases} |D(p_i^i, p_i^j) - D(p_{i-1}^i, p_{i-1}^j)| \leq T_1, \\ | \langle l_i, e \rangle | \leq T_2, | \langle l_j, e \rangle | \leq T_2, \\ | \langle l_i, l_j \rangle | \leq T_2, |l_i| \leq T_3, |l_j| \leq T_3 \end{cases}$$

或  $E_k$  中任意两个点的运动向量  $l_i, l_j$  满足:

$$|l_i| \leq T_4, |l_j| \leq T_4$$

其中,  $D(p, q)$  表示点  $p, q$  的欧氏距离,  $e$  为柱面投影面中水平方向的单位向量,  $\langle a, b \rangle$  表示向量  $a, b$  的不大于  $\pi$  的夹角,  $T_1, T_2, T_3, T_4$  为经验阈值, 本文中  $T_1 = 0.1$  像素,  $T_2 = 0.05\pi$  弧度,  $T_4 = 0.3$  像素,  $T_3 = 2.5$  像素是本文中试验车相机中, 远处背景点的帧间最大位移长度.

去除不符合远处背景点分布规律的点集, 在剩余点集中取点个数最多的点集为  $F$ , 若  $F$  中点个数大于阈值  $T_5$  ( $T_5 = 20$  个), 则认为存在远处背景点, 此时, 取  $F$  内任意两点通过式(10), 可得到旋转参数. 为克服噪声干扰, 本文中旋转参数由多次计算, 取中值得到. 若未找到符合要求的  $F$ , 即不存在远处可用背景点时, 我们定义柱面投影图像的中心区域  $B$ , 对区域  $B$  中的特征点对进行如图 2(a) 所示的虚拟平面投影, 得到投影后的特征点对坐标, 通过式(16)计算旋转参数. 本文中,  $B = \{(u, v) \mid |u - u_0| < u_0/2, |v - v_0| < (2/3)v_0, u_0\} = 360$  像素,  $v_0 = 240$  像素, 为图像的中心点坐标.

### 3.2 平移参数的估计

已知相机旋转参数, 可通过地面点计算相机平移参数. 对于图像中消失线下方任意一点  $P$ , 可以通过其归一化坐标  $(x_s, y_s, z_s)$ , 计算地面投影坐标  $(X, Y, Z)$ ,  $(X, Y, Z) = (H/y_s)(x_s, y_s, z_s)$ . 把图像中地面投影坐标到相机的半径距离  $R (R = \sqrt{X^2 + Z^2})$  小于 3m 的区域内的点投影到如图 2(b) 所示的平行于地面的虚拟平面中, 通过式(18)求取相机的平移参数. 为减少匹配错误、运动特征点、非地面特征点的影响, 最终的平移参数由多组解的中值确定.

## 4 实验结果

利用车后方鱼眼相机拍摄的视频图像作为算法测试数据, 帧频 30 帧/s, 图像大小  $720 \times 480$  像素. 分别选取晴天及雨天的两段测试视频(如图 3 所示), 对比本文方法, G. Stein 方法<sup>[10]</sup>, Liu 方法<sup>[9]</sup>的计算结果与传感器数据差异. G. Stein 方法利用图像宏块, 计算运动参数. Liu 方法利用地面特征点计算运动参数. 选取这两种方法作为对比方法具有一定代表性. 考虑到传感器数据的延时性, 计算结果曲线波形与传感器曲线的接近程度将作为衡量标准. 为便于对比, 本文方法及其对比方法的参数估计结果均根据帧频转为速度值( $\beta$  转换为角

速度  $\omega$  (弧度/s),  $\omega = 30\beta$ ,  $T_z, T_x$  转换为线速度 ( $V$  km/h),  $V = 0.12 \sqrt{T_x^2 + T_z^2}$ .

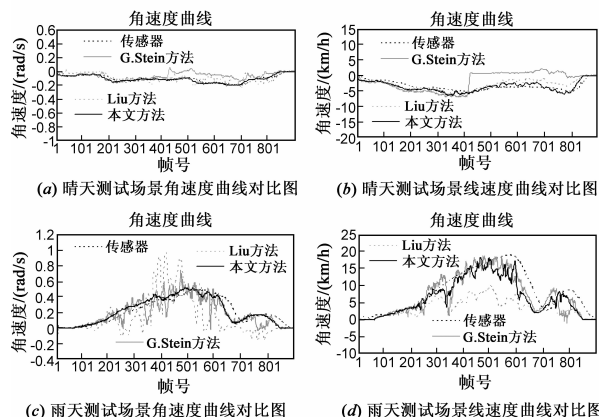


(a) 晴天场景

(b) 雨天场景

图3 测试场景的视频图像

两段测试视频的速度曲线如图 4 所示. 横轴表示帧号, 纵轴表示速度值, 视频均为 900 帧. 图 4(a) 和图 4(b) 分别显示了晴天测试场景的角速度曲线和线速度曲线的对比结果. 这段测试视频中, 地面纹理清晰, 但 422 帧以后, 图像中出现自车移动阴影. 对比曲线可见, 无论是角速度还是线速度, 本文方法都和传感器曲线波形最吻合. 其次是 Liu 方法. G. Stein 方法在 422 帧之前与传感器曲线波形吻合, 之后发生明显错误, 这主要是由于此帧之后, 地面受自车移动阴影干扰, 此方法错误的按照阴影边缘补偿图像宏块导致. 图 4(c) 和图 8(d) 分别显示了雨天测试场景的角速度和线速度曲线的对比结果. 这段视频中, 背景有少量运动行人干扰, 地面有水坑等复杂纹理, 且存在反光等造成了地面特征模糊. 对比曲线可见, 本文方法和传感器数据波形最接近, 其次是 G. Stein 方法, 但在 752 帧到 801 帧之间, 地面缺少纹理, 且反光严重时出现错误, 使得角速度和线速度曲线均出现严重偏离, Liu 方法也出现相同情况. 本文方法由于采用背景数据估计角速度, 对地面特征依赖性降低, 同时消除了旋转参数和平移参数之间的模糊性, 效果较好. 从计算结果的稳定性来看, Liu 方法的速度估计曲线波动最为严重, G. Stein 方法由于直接采用地面块特征计算运动参数, 比 Liu 方法较能克服地面纹理模糊反光干扰. 综上, 在两种天气情况下, 本文方法的速度曲线均和传感器数据最吻合, 优于 G.



(a) 晴天测试场景角速度曲线对比图

(b) 晴天测试场景线速度曲线对比图

(c) 雨天测试场景角速度曲线对比图

(d) 雨天测试场景线速度曲线对比图

图4 两种场景的速度曲线对比图

Stein 方法和 Liu 方法. 且当存在自车阴影干扰, 背景有少量运动目标干扰, 地面有反光, 地面纹理不清晰的情况下, 仍能得到稳定结果.

## 5 结论

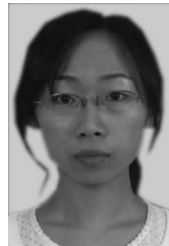
本文提出了一种适用于鱼眼相机的自运动参数估计方法. 分析并推导了不同距离、位置的图像点和运动参数间的关系. 对自运动参数进行异步估计, 解决了以往方法中, 自运动参数同时估计时, 旋转参数和平移参数相互影响, 造成参数估计不准确的问题. 本文方法, 背景特征和地面特征都得到了有效应用. 与传统算法相比, 具有很好的鲁棒性和准确性.

## 参考文献

- [1] Sun Z, Bebis G, Miller R. On-road vehicle detection; a review [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(5): 694 – 711.
- [2] Musleh B, Martin D, de la Escalera A, Armingol J M. Visual ego motion estimation in urban environments based on U-V disparity [A]. Intelligent Vehicles Symposium [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2012. 444 – 449.
- [3] 仲训昱, 朱齐丹, 张智. 数字稳像中的快速和鲁棒运动估计研究 [J]. 电子学报, 2010, 38(1): 251 – 256.  
Zhong Xun-yu, Zhu Qi-dan, Zhang Zhi. Study of fast and robust motion estimation in the digital image stabilization [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 251 – 256. (in Chinese)
- [4] Fraundorfer F, Scaramuzza D. Visual odometry: part II: matching, robustness, optimization, and applications [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2012, 19(2): 78 – 90.
- [5] Turturici M, Saponara S, Fanucci L, Franchi E. Low-power embedded system for real-time correction of fish-eye automotive cameras [A]. Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2012. 340 – 341.
- [6] Yamaguchi K, Kato T, Ninomiya Y. Vehicle ego-motion estimation and moving object detection using a monocular camera [A]. 18th International Conference on Pattern Recognition [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2006. 610 – 613.
- [7] Sato I, Yamano C, Yanagawa H. Crossing obstacle detection with a vehicle-mounted camera [A]. Intelligent Vehicles Symposium [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2011. 60 – 65.
- [8] Weydert M. Model-based ego-motion and vehicle parameter estimation using visual odometry [A]. 16th IEEE Electrotechnical Conference (MELECON) [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2012. 914 – 919.

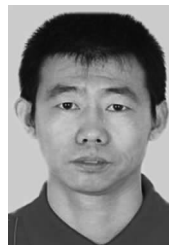
- [9] 刘威, 于红绯, 杨恒, 段勃勃, 袁淮, 赵宏. 一种新的基于单目视觉的广义障碍物检测方法 [J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1793 – 1799.  
Liu Wei, Yu Hong-fei, Yang Heng, Duan Bo-bo, Yuan Huai, Zhao Hong. A new method for generalized obstacle detection based on monocular vision [J]. Acta Electronica Sinica, 2011. 39(8): 1793 – 1799. (in Chinese)
- [10] Stein G P, Mano O, Shashua A. A robust method for computing vehicle ego-motion [A]. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium [C]. USA: IEEE, 2000. 362 – 368.
- [11] Shigang Li, Fukumori K. Spherical stereo for the construction of immersive VR environment [A]. Proceedings of the IEEE Virtual Reality [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2005. 217 – 222.
- [12] Kannala J, Brandt S S. A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(8): 1335 – 1340.
- [13] Van Hamme D, Veelaert P, Philips W. Robust monocular visual odometry by uncertainty voting [A]. Intelligent Vehicles Symposium [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2011. 643 – 647.
- [14] Scaramuzza D, Fraundorfer F, Siegwart R. Real-time monocular visual odometry for on-road vehicles with 1-point ransac [A]. IEEE International Conference on Robotics and Automation [C]. New Jersey, USA: IEEE, 2009. 4293 – 4299.
- [15] Tomasi C, Kanade T. Detection and Tracking of Point Features [R]. USA: Carnegie Mellon University, 1991.

## 作者简介



于红绯 女, 1982 年 5 月出生于沈阳市. 博士研究生. 目前主要从事计算机视觉与图像处理方面的有关研究.

E-main: yuhf@neusoft.com



刘威 男, 1975 年 6 月出生于沈阳市. 博士, 东北大学讲师, 高级工程师. 主要研究领域为汽车辅助驾驶、智能交通、智能安防, 研究方向为计算机视觉、图像处理、模式识别.

E-main: lwei@neusoft.com