



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102661733 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201210167496. 2

(22) 申请日 2012. 05. 28

(73) 专利权人 天津工业大学

地址 300160 天津市河东区成林道 63 号

(72) 发明人 肖志涛 耿磊 张芳 吴骏

方胜宇 王悦

及性能分析. 《光子学报》. 2011, 第 40 卷 (第 7 期), 全文.

晁志超 等. 单目摄像机-激光测距传感器位姿测量系统. 《光学学报》. 2011, 第 31 卷 (第 3 期), 全文.

审查员 汤晨光

(51) Int. Cl.

G01C 3/00 (2006. 01)

G01C 11/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2008/0144924 A1, 2008. 06. 19, 全文.

CN 1537749 A, 2004. 10. 20, 全文.

CN 102288121 A, 2011. 12. 21, 全文.

郭磊 等. 基于单目视觉的实时测距方法研究. 《中国图象图形学报》. 2006, 第 11 卷 (第 1 期), 全文.

王荻 等. 基于单目图像和方向的测距系统

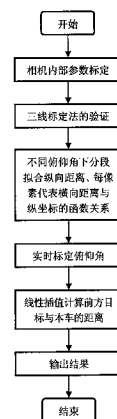
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于单目视觉的前方车辆测距方法

(57) 摘要

本发明属于智能交通技术领域, 涉及一种基于单目视觉的前方车辆测距方法, 该方法在调整好车载相机姿态后, 考虑因颠簸导致俯仰角变化的范围, 调整相机俯仰角, 然后利用得到的实测数据, 分段拟合出不同俯仰角下纵坐标与实际纵向距离的函数关系及与水平每像素代表实际横向距离的函数关系; 车辆行驶时, 根据实时检测到的左右车道线, 结合三线标定法, 标定出相机实时的俯仰角度, 再利用线性插值方法, 计算得到车辆目标与本车的距离。本发明对车辆颠簸引起的测距误差具有实时动态补偿效果, 可准确计算本车与前方车辆的距离。



1. 一种基于单目视觉的前方车辆测距方法,包括下列步骤:

(1) 对相机内部参数进行标定;

(2) 将相机安装在汽车上,用三线标定法静态标定相机的姿态参数,如果相机姿态参数不符合选定的安装方案,调整相机姿态后再次用三线标定法静态标定相机参数,直至其相机的姿态参数符合安装方案的要求;

(3) 设汽车行驶过程中因颠簸导致俯仰角的范围为  $(\theta_L, \theta_H)$ ,调整相机俯仰角为  $\theta_L$ ,在相机前方的纵向方向上,距离车身一定距离设置标志点,在该点处设置标记物,记录该标志点对应在图像的纵坐标,并在该标志点处横向再测量一定距离,记录其对应图像的横坐标;

(4) 在相机前方纵向不同距离处重复步骤步骤 (3) 的过程,利用得到的数据分段拟合出俯仰角为  $\theta_L$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系记为  $VD_{\theta_L}(y)$ ,纵坐标与每像素代表水平实际横向距离的函数关系记为  $HD_{\theta_L}(y)$ ,其中  $y$  表示纵坐标;

(5) 分别调整相机俯仰角为  $\theta_H$  和约为  $\theta_M = (\theta_L + \theta_H)/2$ ,重复步骤 (3) 和 (4) 的过程,然后利用得到的数据,分段拟合出俯仰角为  $\theta_H$  和约为  $\theta_M = (\theta_L + \theta_H)/2$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系  $VD_{\theta_H}(y)$  和  $VD_{\theta_M}(y)$ ,纵坐标与水平每像素代表实际横向距离的函数关系  $HD_{\theta_H}(y)$  和  $HD_{\theta_M}(y)$ ;

(6) 设实时检测到的左右车道线方程分别为  $y = k_1x + b_1$  和  $y = k_2x + b_2$ ,则两条直线的夹角平分线方程为  $y = \frac{k_1 + \lambda k_2}{1 + \lambda}x + \frac{b_1 + \lambda b_2}{1 + \lambda}$ ,其中  $\lambda = \sqrt{\frac{1 + k_1^2}{1 + k_2^2}}$ ,构造出三条实际上互相平行的直线:左右车道线和车道中线,利用步骤 (4) 和 (5) 得到的函数关系,结合三线标定法,标定出相机实时的俯仰角度  $\theta_{real-time}$ ;

(7) 根据  $\theta_{real-time}$  与  $\theta_L$ 、 $\theta_M$  和  $\theta_H$  的关系,利用线性插值方法,计算得到车辆目标与本车的距离,

计算公式如下:

$$Dis = \sqrt{VD^2 + HD^2}$$

$$VD = \begin{cases} VD_{\theta_L}(y), & \theta_{real-time} \leq \theta_L \\ \frac{\theta_M - \theta_{real-time}}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{real-time} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_M}(y), & \theta_L < \theta_{real-time} \leq \theta_M \\ \frac{\theta_H - \theta_{real-time}}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{real-time} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_H}(y), & \theta_M < \theta_{real-time} \leq \theta_H \\ VD_{\theta_H}(y), & \theta_{real-time} > \theta_H \end{cases}$$

$$HD = \begin{cases} [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_L}(y), & \theta_{realtime} \leq \theta_L \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_M - \theta_{realtime}}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_M}(y)], & \theta_L < \theta_{realtime} \leq \theta_M \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_H - \theta_{realtime}}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_H}(y)], & \theta_M < \theta_{realtime} \leq \theta_H \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_H}(y), & \theta_{realtime} > \theta_H \end{cases}$$

式中 VD 表示车辆目标与本车的纵向距离, HD 表示车辆目标与本车的横向距离, Dis 表示车辆目标与本车的距离,  $P_x$  表示相机采集图像的水平分辨率, x 和 y 分别代表目标的横纵坐标。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于单目视觉的前方车辆测距方法, 其特征在于, 步骤 (2) 中, 相机的姿态参数符合安装方案的要求为: 使水平倾角  $\varphi$  和方向偏角  $\Psi$  都在 0.002 弧度之内。

## 一种基于单目视觉的前方车辆测距方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种在高速或者快速公路条件下可准确计算本车与前方车辆的距离的方法,该方法对车辆颠簸引起的测距误差具有实时动态补偿效果,属于图像处理和机器视觉领域,可应用于智能交通领域中的智能车辆安全辅助驾驶系统。

### 背景技术

[0002] 随着世界经济的发展,全球汽车数量激增,车祸的发生率也随之大幅增加,交通事故对各个国家的人民生命财产和国民经济都造成了巨大的损失。高速公路、快速路事故率上升的主要原因在于公路通车里程快速增长,车流量增大致使车距过近,驾驶员疲劳驾驶容易造成追尾事故。因此,为减少此类交通事故的发生,作为智能汽车安全辅助系统的关键技术之一,前方车辆检测和距离测量技术引起了许多国家汽车行业、科研院校和政府的关注。

[0003] 依所采用的测距传感器的不同,目前车辆测距技术主要可分为超声波测距、激光测距、红外线测距和机器视觉测距。超声波测距、激光测距和红外线测距,通过目标物体对超声波、激光、红外线等反射的原理来实现测量的,这三种技术系统设备复杂昂贵,容易受到干扰,且有效探测距离较小,主要适用于车辆速度较低の場合。机器视觉测距通过对摄像头采集的图像进行分析,定位车辆在图像中的位置,经过测距模型计算出实际距离,它设备简单,应用前景广阔。

[0004] 机器视觉测量主要分为:单目视觉测量、双目视觉测量、结构光视觉测量。双目视觉难点在于特征点的匹配,影响了测量的精度和效率,其理论研究的重点集中于特征的匹配上;结构光由于光源的限制,应用的场合比较固定;而单目视觉系统构造简单,成本低廉,计算机只需要处理单幅图像,不需要进行复杂的图像匹配,相对于其他基于视觉的测距系统,在同一时间内减少了系统工作量,节约了大量计算机处理数据的时间,视觉系统的实时性大大提高,能够更好地满足实际需要。

[0005] 单目视觉测距按照测量的原理主要分为基于已知运动和已知物体的测量方法。基于已知运动的测量方法是指利用摄像机的移动信息和摄像机得到的图片测得深度距离,这种测量的缺点是要对一幅或几幅图片进行特征点的匹配,匹配误差对测量结果有明显的影响,同时处理时间长,对于多幅图像而言则必然需要更多的计算时间。而基于已知物体的测量方法是指在已知物体信息的条件下利用摄像机获得的目标图片得到深度信息。此类方法更加适用于导航和定位,其缺点是利用单个特征点进行测量,容易因特征点提取的不准确性,产生误差。

[0006] 单目测距技术在国内已经获得广泛的重视和深入的研究,其中清华大学、吉林大学等高校都先后开始进行这方面的工作,如:清华大学的郭磊研究在计算摄像机俯仰角时利用道路平行约束,采用几何关系推倒法测量距离(郭磊,徐友春,李克强,连小珉.基于单目视觉的实时测距方法研究[J].中国图象图形学报.2006,11(1):74-81)。吉林大学王荣本教授的智能车辆课题组,利用单帧图像测距模型实现单目测距(顾柏园.基于单目视觉

的安全车距预警系统研究 [D]. 吉林大学. 2006 :101-105)。

[0007] 目前的单目测距研究大多先是推导出成像投影模型或几何模型,再由此计算距离。因此他们存在着一些共性的问题:一方面,基本上所有研究中都是小孔成像或透视投影的光学模型,并且其中坐标变换的几何关系都以理想光路为前提,而未考虑实际成像中存在的透镜畸变等光路误差,无法满足实际应用中的需要。另一方面,大多研究方法都采用了众多假设以简化问题,如相机水平放置、相机高度恒定不变、车辆无颠簸等等。而实际使用中,车辆行驶过程中发生的颠簸会改变相机拍摄的俯仰角,实验证明,车辆测距结果对俯仰角较为敏感,俯仰角的改变将致使测距精度一定程度上降低。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的是克服现有技术的上述不足,提供一种能够对车辆颠簸引起的测距误差进行实时动态补偿,能够准确且快速的计算本车与前方车辆的距离的方法。为此,本发明采用如下的技术方案。

[0009] 一种基于单目视觉的前方车辆测距方法,包括下列步骤:

[0010] (1) 对相机内部参数进行标定;

[0011] (2) 将相机安装在汽车上,用三线标定法静态标定相机的姿态参数,如果相机姿态参数不符合选定的安装方案,调整相机姿态后再次用三线标定法静态标定相机参数,直至其相机的姿态参数符合安装方案的要求;

[0012] (3) 设汽车行驶过程中因颠簸导致俯仰角的范围为  $(\theta_L, \theta_H)$ ,调整相机俯仰角为  $\theta_L$ ,在相机前方的纵向方向上,距离车身一定距离设置标志点,在该点处设置标记物,记录该标志点对应在图像的纵坐标,并在该标志点处横向再测量一定距离,记录其对应图像的横坐标;

[0013] (4) 在相机前方纵向不同距离处重复步骤步骤 (3) 的过程,利用得到的数据分段拟合出俯仰角为  $\theta_L$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系记为  $VD_{\theta_L}(y)$ ,纵坐标与每像素代表水平实际横向距离的函数关系记为  $HD_{\theta_L}(y)$ ,其中  $y$  表示纵坐标;

[0014] (5) 分别调整相机俯仰角为  $\theta_H$  和约为  $\theta_M = (\theta_L + \theta_H)/2$ ,重复步骤 (3) 和 (4) 的过程,然后利用得到的数据,分段拟合出俯仰角为  $\theta_H$  和约为  $\theta_M = (\theta_L + \theta_H)/2$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系  $VD_{\theta_H}(y)$  和  $VD_{\theta_M}(y)$ ,纵坐标与水平每像素代表实际横向距离的函数关系  $HD_{\theta_H}(y)$  和  $HD_{\theta_M}(y)$ ;

[0015] (6) 设实时检测到的左右车道线方程分别为  $y = k_1x + b_1$  和  $y = k_2x + b_2$ ,则两条直线的夹角平分线方程为  $y = \frac{k_1 + \lambda k_2}{1 + \lambda}x + \frac{b_1 + \lambda b_2}{1 + \lambda}$ ,其中  $\lambda = \sqrt{\frac{1 + k_1^2}{1 + k_2^2}}$ ,构造出三条实际上互相平行的直线:左右车道线和车道中线,利用步骤 (4) 和 (5) 得到的函数关系,结合三线标定法,标定出相机实时的俯仰角度  $\theta_{\text{real-time}}$ ;

[0016] (7) 根据  $\theta_{\text{real-time}}$  与  $\theta_L$ 、 $\theta_M$  和  $\theta_H$  的关系,利用线性插值方法,计算得到车辆目标与本车的距离。作为优选实施方式,步骤 (2) 中,相机的姿态参数符合安装方案的要求为:使水平倾角  $\varphi$  和方向偏角  $\Psi$  都在 0.002 弧度之内;

[0017] 步骤 (7) 中,利用线性插值方法,计算车辆目标与本车距离的距离公式为:

$$[0018] \quad Dis = \sqrt{VD^2 + HD^2}$$

$$[0019] \quad VD = \begin{cases} VD_{\theta_L}(y), & \theta_{realtime} \leq \theta_L \\ \frac{\theta_M - \theta_{realtime}}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_M}(y), & \theta_L < \theta_{realtime} \leq \theta_M \\ \frac{\theta_H - \theta_{realtime}}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_H}(y), & \theta_M < \theta_{realtime} \leq \theta_H \\ VD_{\theta_H}(y), & \theta_{realtime} > \theta_H \end{cases}$$

$$[0020] \quad HD = \begin{cases} [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_L}(y), & \theta_{realtime} \leq \theta_L \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_M - \theta_{realtime}}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_M}(y)], & \theta_L < \theta_{realtime} \leq \theta_M \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_H - \theta_{realtime}}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{realtime} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_H}(y)], & \theta_M < \theta_{realtime} \leq \theta_H \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_H}(y), & \theta_{realtime} > \theta_H \end{cases}$$

[0021] 式中 VD 表示车辆目标与本车的纵向距离，HD 表示车辆目标与本车的横向距离，Dis 表示车辆目标与本车的距离， $P_x$  表示相机采集图像的水平分辨率，x 和 y 分别代表目标的横纵坐标。

[0022] 本发明的实质性特点是，采用基于已知物体的单目视觉测距技术，考虑实际成像中存在的透镜畸变等光路误差，首先对相机进行内部参数标定，并用几何计算法和全站仪测量法验证三线标定法的准确性，然后利用三线标定法静态标定相机姿态参数，根据相机不同的俯仰角，采用分段拟合函数的方法，拟合纵坐标与实际纵向距离的函数关系，拟合纵坐标与每像素代表实际横向距离的函数关系。最后，利用车道线检测的结果，再次利用三线标定法实时计算相机实际俯仰角，通过线性插值计算车辆目标与本车的距离，对车辆颠簸引起的俯仰角变化而导致的测距误差具有实时动态补偿效果。本发明具有如下的技术效果：

[0023] 1. 方法简单，易于实施。本发明利用数据回归建模法原理，实验测量得到必须的数据，就能完成前方目标距离测量，且不需要高精度的仪器设备，方法简单实用。

[0024] 2. 准确性高。本发明数据采集过程中，考虑了实际成像中存在的透镜畸变等光路误差，采用分段拟合函数的方法，保证了测距准确性。并且可以根据实际需要调整数据采集时抽样频率而调整拟合精度。

[0025] 3. 对车辆颠簸引起俯仰角变化带来的测距误差，通过实时标定俯仰角与线性插值计算目标与本车距离，使本发明具有实时动态补偿效果。

#### 附图说明

[0026] 图 1：本发明的测距方法流程图。

[0027] 图 2：三线标定法的验证示意图。

[0028] 图 3：相机安装方案示意图。图 3-1 为俯视图，图 3-2 为侧视图，图 3-3 为前视图。

[0029] 图 4：纵向和横向测距拟合函数图。图 4-1 为三种不同俯仰角下的纵向距离和纵坐标的拟合函数图，图 4-2 为三种不同俯仰角下的横向每像素代表实际距离和纵坐标的拟

合函数图。

[0030] 图 5:俯仰角实时标定方法示意图。图 5-1 为图像内左右车道线和车道中线的分布图,图 5-2 为实际路面左右车道线和车道中线的分布图。

[0031] 图 6:不同距离下测距结果图。图 6-1 为距离在 20 至 30 米间的测距图,图 6-2 为距离在 30 至 40 米间的测距图,图 6-3 为距离在 40 至 50 米间的测距图,图 6-4 为距离在 50 至 60 米间的测距图,图 6-5 为距离在 60 至 70 米间的测距图,图 6-6 为距离在 80 至 90 米间的测距图,图 6-7 为距离在 110 至 120 米间的测距图,图 6-8 为距离在 120 至 130 米间的测距图。

### 具体实施方式

[0032] 本发明的流程图如图 1 所示,首先对相机进行内部参数标定,并用几何计算法和全站仪测量法验证三线标定法的准确性,然后利用三线标定法静态标定相机姿态参数,根据相机不同的俯仰角,采用分段拟合函数的方法,拟合纵坐标与实际纵向距离的函数关系,拟合纵坐标与每像素代表实际横向距离的函数关系。最后,利用车道线检测的结果,再次利用三线标定法实时计算相机实际俯仰角,通过线性插值计算车辆目标与本车的距离。下面结合附图,对本发明技术方案的具体实施过程加以说明。

[0033] 1. 相机内部参数标定

[0034] 采用张正友法对相机内部参数进行标定,得到相机主点坐标  $(i_0, j_0)$ , 水平方向和垂直方向的焦距(以像素为单位)  $f_x$  和  $f_y$ 。

[0035] 2. 三线标定法计算方法

[0036] 设地面上三条互相平行的直线  $l_1, l_2, l_3$ , 它们都平行于车辆中轴线  $X_v$ , 与  $X_v$  的距离分别为  $a_1, a_2, a_3$ 。它们共同的交点坐标为  $(i_h, j_h)$ , 且  $U_{h1} = U_{h2} = U_{h3} = U_h = (i_h - i_0) d_x$ ,  $V_{h1} = V_{h2} = V_{h3} = V_h = (j_h - j_0) d_y$ 。  $d_x, d_y$  分别为像平面坐标系到帧存坐标系转换横向、纵向的比例系数。在  $l_1, l_2, l_3$  上分别取非交点的任意一点, 坐标为  $(i_n, j_n)$ ,  $n = 1, 2, 3$ 。则三线标定法计算方法如下:

[0037] 
$$\psi = \arctg \left\{ \frac{[(r_1 - r_3)(a_1 - a_2) - (r_1 - r_2)(a_1 - a_3)]}{[(r_1 - r_3)(r_1 a_1 - r_2 a_2) - (r_1 - r_2)(r_1 a_1 - r_3 a_3)]} \right\}$$

[0038] 
$$\theta = \arctg(U_h \sin \psi / f_x d_x + V_h \cos \psi / f_y d_y), \varphi = \arctg[\cos \theta (U_h / f_x d_x - \sin \psi \tan \theta / \cos \psi)]$$

[0039] 
$$h = (a_2 - a_1) AC / (BC - AD), d = (B/A)(a_2 - a_1) AC / (BC - AD) + a_1$$

[0040] 式中

[0041] 
$$A = r_1 \sin \psi \cos \theta - \cos \theta \cos \psi$$

[0042]

$$B = -(\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \cos \psi \sin \theta) - r_1 (\cos \varphi \cos \psi - \sin \varphi \sin \psi \sin \theta)$$

[0043] 
$$C = r_2 \sin \psi \cos \theta - \cos \theta \cos \psi$$

[0044]

$$D = -(\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \cos \psi \sin \theta) - r_2 (\cos \varphi \cos \psi - \sin \varphi \sin \psi \sin \theta)$$

[0045] 
$$r_n = -(f_x / f_y) (i_h - i_n) / (j_h - j_n), n = 1, 2, 3$$

[0046] 其中  $\arctg$  表示反正切函数。计算结果中,  $\psi$  为相机方向偏角,  $\varphi$  为相机水平倾角,  $\theta$  为相机俯仰角,  $h$  为相机高度,  $d$  为相机到  $X_v$  的距离。

[0047] 3. 验证三线标定法的准确性

[0048] 3.1 如图 2 所示,将相机固定在三脚架上,将三脚架底座调成水平,前方垂直于地面放置一标杆,在标记物上确定 A、B、C 三点。将相机光心分别对准前方 A、B、C 三点,用三线标定法记录三组俯仰角和相机高度值,  $\theta_1$  与  $h_1$ ,  $\theta_2$  与  $h_2$ ,  $\theta_3$  与  $h_3$ 。

[0049] 3.2 用米尺测量 A、B、C 三点离地面高度  $D_1$ 、 $D_2$  和  $D_3$ ,测量相机光心到地面高度  $h$  和 A、B、C 三点到相机的水平距离  $D$ ,用几何算法即可计算相机光心对准 A、B、C 三点时的俯仰角,得到  $\theta_1' = \arctg[(h-D_1)/D]$ ,  $\theta_2' = \arctg[(h-D_2)/D]$ ,  $\theta_3' = \arctg[(h-D_3)/D]$ 。

[0050] 3.3 将相机移走,并将全站仪安放在与刚才相机相同的位置,分别记录全站仪望远镜十字交叉点对准前方 A、B、C 三点时的俯仰角  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ 。

[0051] 3.4 比较  $\theta_1$  与  $\theta_1'$ ,  $\theta_2$  与  $\theta_2'$ ,  $\theta_3$  与  $\theta_3'$ ,  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  与  $h$ ,  $(\theta_1 - \theta_2)$ 、 $(\theta_1' - \theta_2')$  与  $(\beta_1 - \beta_2)$ ,  $(\theta_1 - \theta_3)$ 、 $(\theta_1' - \theta_3')$  与  $(\beta_1 - \beta_3)$ ,验证三线标定法的准确性。经实验验证三线标定法标定精度可以满足需要。

[0052] 4. 分段拟合纵坐标与实际纵向距离的函数关系,分段拟合纵坐标与水平每像素代表实际横向距离的函数关系。

[0053] 4.1 相机安装方案示意图如图 3 所示,图 3-1 为俯视图,图 3-2 为侧视图,图 3-3 为前视图,将相机安装在汽车内部前挡风玻璃后,方向指向正前方,水平摆放,相机光轴在地面的投影与车辆中轴线  $X_v$  重合,使相机到  $X_v$  的距离  $d = (d_2 - d_1)/2 = 0$ ,水平倾角  $\varphi = 0$ ,方向偏角  $\Psi = 0$ 。相机前方找到或画出相互平行的三条直线,且均与  $X_v$  平行,并测量  $X_v$  与三条直线的距离,用三线标定法标定相机姿态参数,调整相机姿态,直至使水平倾角  $\varphi$  和方向偏角  $\Psi$  都在 0.002 弧度之内 (0.12 度之内)。

[0054] 4.2 当相机光心分别对准前方 75 米处和 40 米处,这两种情况下的俯仰角约为汽车行驶过程中因颠簸导致俯仰角变化的范围  $(\theta_L, \theta_H)$ ,当相机光心分别对准前方 50 米处,此时的俯仰角约为  $\theta_M = (\theta_L + \theta_H)/2$ 。

[0055] 4.3 调整相机俯仰角使光心对准前方 75 米处,且满足 4.1 的安装方案要求,用三线标定法标定此时俯仰角  $\theta_L$ ,沿  $X_v$  从最小视距处开始每隔 5 米设置一次标记物,并录该点对应图像的纵坐标。在标记物处沿横向再用米尺测量一定距离,并记录其对应图像的横坐标。利用得到的数据分段拟合出俯仰角为  $\theta_L$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系记为  $VD_{\theta_L}(y)$ ,纵坐标与水平每像素代表实际横向距离的函数关系记为  $HD_{\theta_L}(y)$ ,其中  $y$  表示纵坐标。

[0056] 4.4 调整相机俯仰角使光心对准前方 50 米处和 40 米处,重复实施例 4.3 过程,分段拟合出俯仰角为  $\theta_M$  和  $\theta_H$  时,纵坐标与实际纵向距离的函数关系  $VD_{\theta_M}(y)$  和  $VD_{\theta_H}(y)$ ,纵坐标与水平每像素代表实际横向距离的函数关系  $HD_{\theta_M}(y)$  和  $HD_{\theta_H}(y)$ 。三种不同俯仰角下的纵向距离和纵坐标的拟合函数如图 4-1 所示,三种不同俯仰角下的横向每像素代表实际距离和纵坐标的拟合函数如图 4-2 所示。

[0057] 5. 实时标定相机俯仰角

[0058] 如图 5 所示,图 5-1 表示图像内左右车道线和车道中线的分布,图 5-2 表示实际路面左右车道线和车道中线的分布。设实时检测到的左右车道线在图像内方程分别为  $:l_{left} :$



$y = k_1x + b_1$  和  $l_{\text{right}}: y = k_2x + b_2$ , 则两条直线的夹角平分线方程为  $l_{\text{middle}}: y = \frac{k_1 + \lambda k_2}{1 + \lambda}x + \frac{b_1 + \lambda b_2}{1 + \lambda}$ ,

其中  $\lambda = \sqrt{\frac{1+k_1^2}{1+k_2^2}}$ 。这样就构造出实际路面的三条互相平行的直线, 左右车道线和车道中线。设左右车道线和车道中心线与图像  $y = 0$  的水平直线交点分别为  $P_L$ 、 $P_R$  和  $P_M$ , 则三点的横坐标分别为  $X_L = -\frac{b_1}{k_1}$ 、 $X_R = -\frac{b_2}{k_2}$  和  $X_M = -\frac{b_1 + \lambda b_2}{k_1 + \lambda k_2}$ , 相机位置所在的横坐标为  $X_A = \frac{P_x}{2}$ , 其中  $P_x$  表示相机采集图像的水平分辨率。

[0059] 如图 4 所示,  $HD_{\theta_L}(y)$ 、 $HD_{\theta_M}(y)$  和  $HD_{\theta_H}(y)$  在  $y = 0$  时, 误差很小。所以将  $X_L$ 、 $X_R$ 、 $X_M$  和  $X_A$  结合  $HD_{\theta_M}(y)$  即可计算出实际路面直线  $l_{\text{left}}$ 、 $l_{\text{right}}$ 、 $l_{\text{middle}}$  与车辆中轴线  $X_v$  的距离  $a_{\text{left}}$ 、 $a_{\text{right}}$  和  $a_{\text{middle}}$ , 将其和  $P_L$ 、 $P_R$  和  $P_M$  的坐标带入实施例步骤 2 的公式中, 即可标定出实时的相机俯仰角  $\theta_{\text{real-time}}$ 。

[0060] 6. 线性插值计算车辆目标与本车的距离

[0061] 根据  $\theta_{\text{real-time}}$  与  $\theta_L$ 、 $\theta_M$  和  $\theta_H$  的关系, 利用线性插值方法, 计算目标车辆与本车的距离, 计算方法如下:

$$[0062] \quad Dis = \sqrt{VD^2 + HD^2}$$

$$[0063] \quad VD = \begin{cases} VD_{\theta_L}(y), & \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_L \\ \frac{\theta_M - \theta_{\text{realtime}}}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{\text{realtime}} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} VD_{\theta_M}(y), & \theta_L < \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_M \\ \frac{\theta_H - \theta_{\text{realtime}}}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{\text{realtime}} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} VD_{\theta_H}(y), & \theta_M < \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_H \\ VD_{\theta_H}(y), & \theta_{\text{realtime}} > \theta_H \end{cases}$$

[0064]

$$HD = \begin{cases} [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_L}(y), & \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_L \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_M - \theta_{\text{realtime}}}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_L}(y) + \frac{\theta_{\text{realtime}} - \theta_L}{\theta_M - \theta_L} HD_{\theta_M}(y)], & \theta_L < \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_M \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot [\frac{\theta_H - \theta_{\text{realtime}}}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_M}(y) + \frac{\theta_{\text{realtime}} - \theta_M}{\theta_H - \theta_M} HD_{\theta_H}(y)], & \theta_M < \theta_{\text{realtime}} \leq \theta_H \\ [abs(x - \frac{P_x}{2})] \cdot HD_{\theta_H}(y), & \theta_{\text{realtime}} > \theta_H \end{cases}$$

[0065] 式中  $VD$  表示车辆目标与本车的纵向距离,  $HD$  表示车辆目标与本车的横向距离,  $Dis$  表示车辆目标与本车的距离,  $P_x$  表示相机采集图像的水平分辨率,  $x$  和  $y$  分别代表目标的横纵坐标。

[0066] 本发明所使用的测距方法, 对使用工业相机采集的视频图像进行仿真, 不同距离下测距结果如附图 6 所示。综上所述, 本发明的方法首先验证了三线标定法的准确性, 然后运用三线标定法标定相机姿态参数, 通过实际测量, 获取距离样本点与像平面之间的对应关系, 再用分段拟合的方法拟合函数关系, 建立该映射关系对应的测距模型, 并配以针对俯仰角变化的实时动态补偿, 从而实现了准确检测并计算当前行驶车辆与前方车辆之间距离的测距方法。

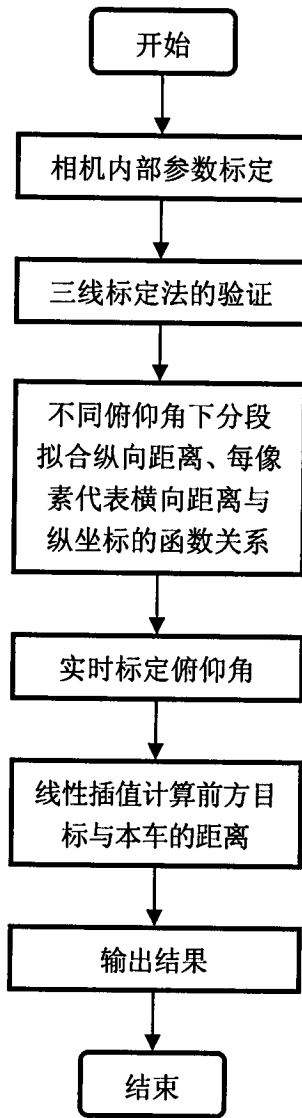


图 1

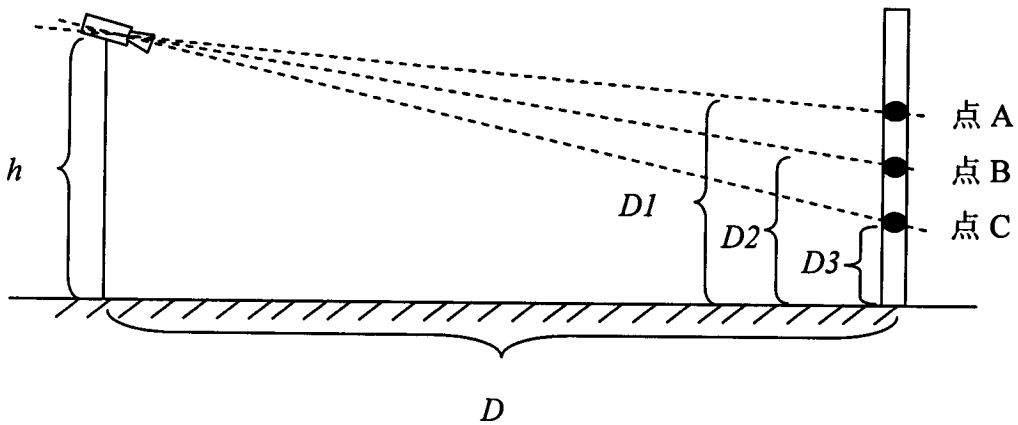
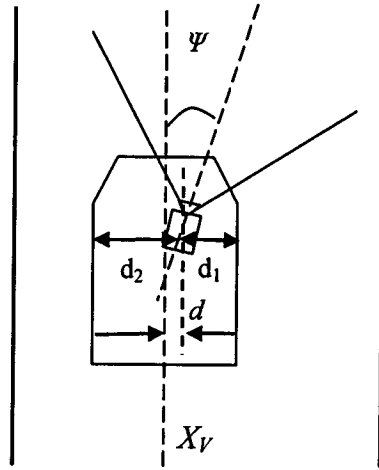
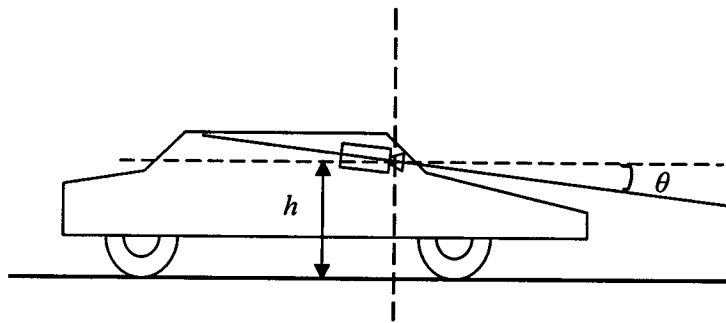


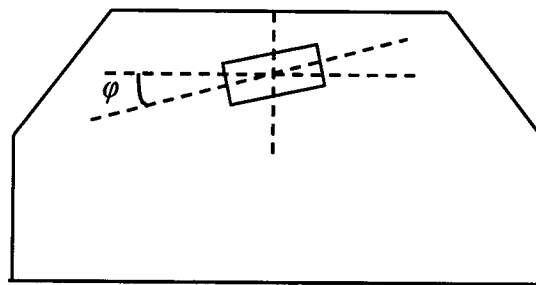
图 2



3-1

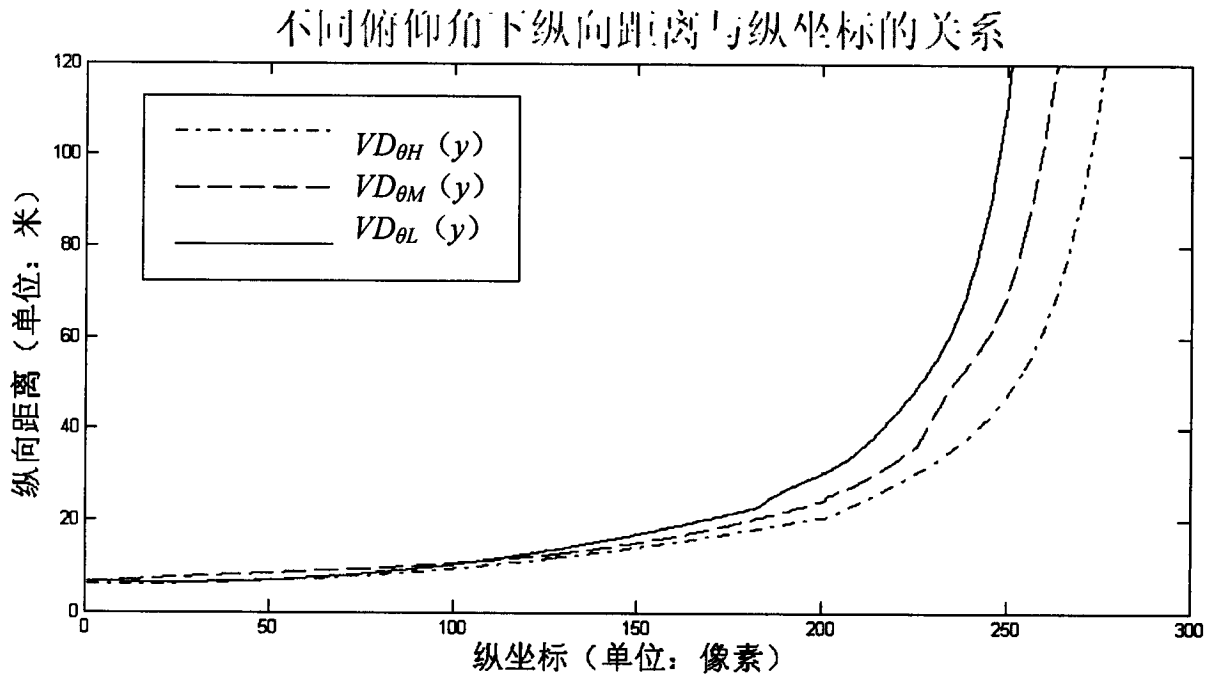


3-2

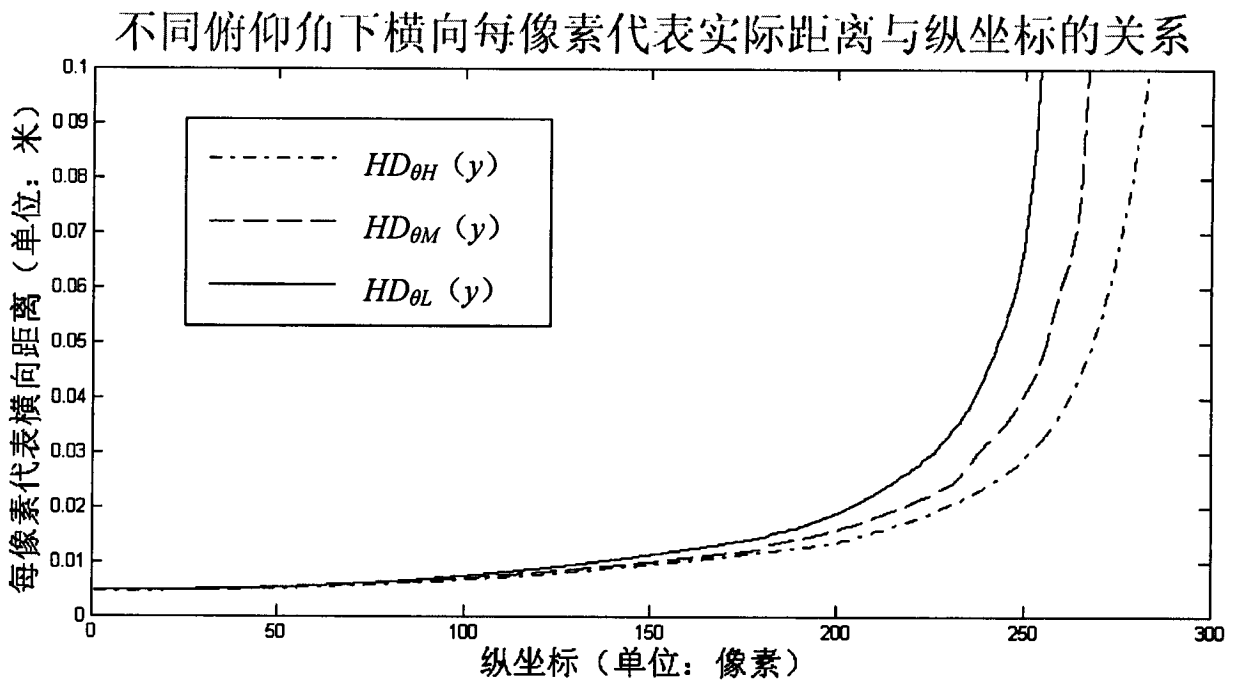


3-3

图 3

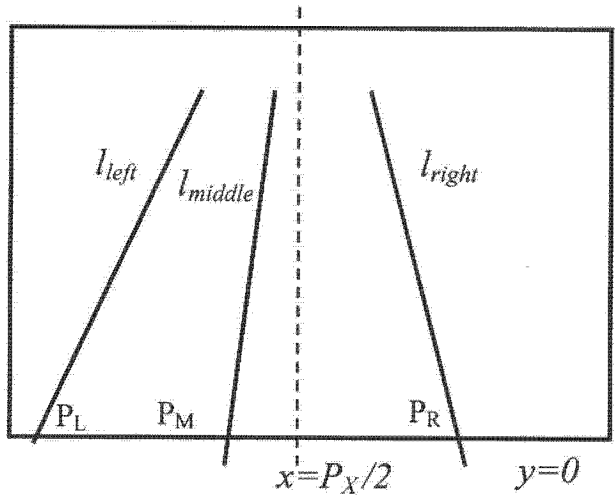


4-1

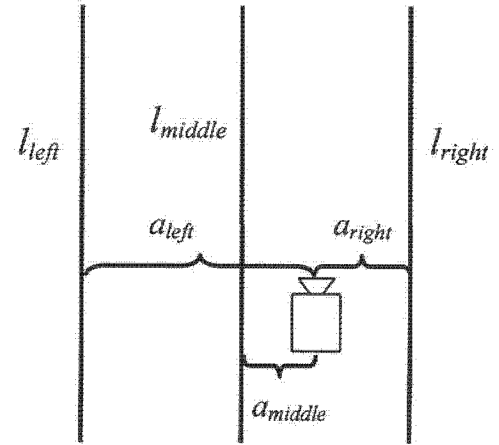


4-2

图 4

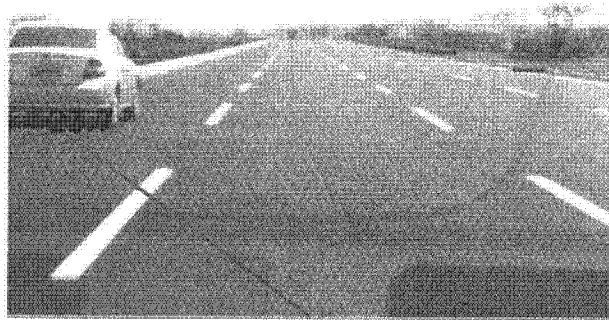


5-1

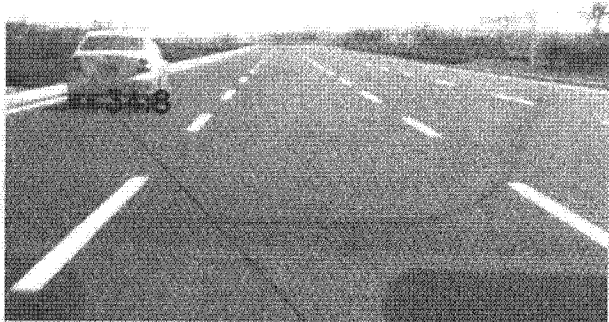


5-2

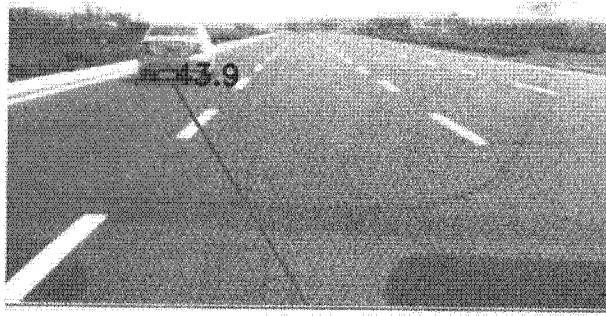
图 5



6-1



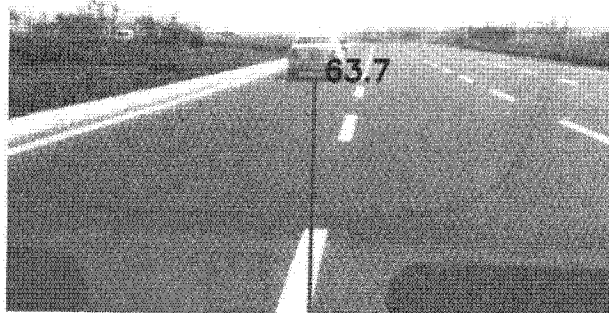
6-2



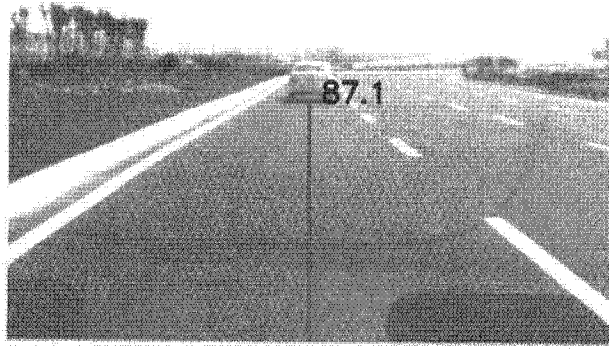
6-3



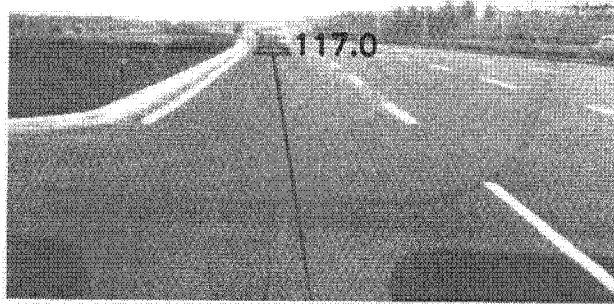
6-4



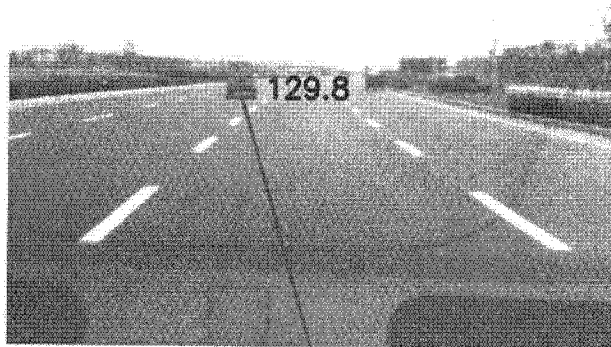
6-5



6-6



6-7



6-8

图 6