

基于距离图象的道路探测方法

罗必凯 陈林 贺安之 苗鹏程

(南京理工大学应用物理系, 南京 210014)

提要 描述了一种用激光三维视觉传感器获得的距离图象的处理方法,可自动探测出道路及障碍物。通过对一系列真实距离图象的处理,结果表明该方法是十分有效的。

关键词 激光三维视觉传感器,距离图象,道路探测

1 引言

在过去的二十年内,视觉信息的获取大都局限在以摄像机获得的数字灰度图象方面。但这种图象不直接给出距离信息,对计算机来说从这样的图象上理解和推断图象上各区域的关系是相当困难的。

本文使用的原始图象是用激光束二维扫描测距式光雷达(即激光三维成像雷达)^[1,2]作为三维视觉传感器所获得的距离阵列即距离图象。这种图象同摄像机所获得的数字灰度图象的不同之处在于:图象上每一点的象素值不是亮度而是距离。因此距离图象具有空间三维性。

道路的探测在自主式车辆(ALV)导航系统中有着重要的意义。视觉导航的任务之一是确定在行进的道路是否有障碍物及障碍物的三维空间位置。在文献[3]中描述了一种道路探测方法,该方法适用于平坦或光滑的道路,本文的方法可适用于非平坦和非光滑的道路。

本文利用距离图象作为输入图象,经滤波、坐标变换和梯度运算后,得到梯度图象,再取适当的阈值得到二值图。然后利用轮廓匹配法和高度匹配法判断是否存在障碍物,从而确定其位置,计算其高度、宽度等。

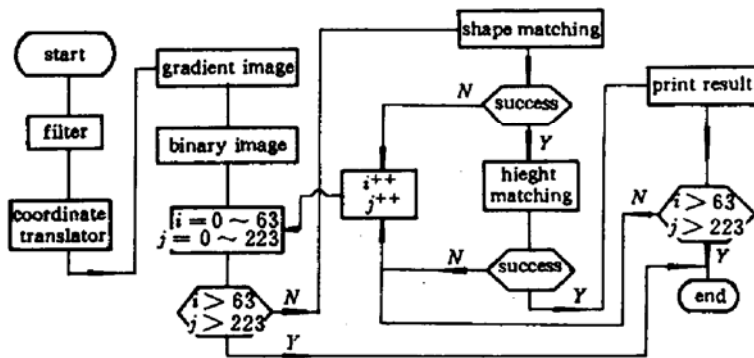


Fig. 1 The program block diagram of detection

后利用轮廓匹配法和高度匹配法判断是否存在障碍物,从而确定其位置,计算其高度、宽度等。道路探测的程序总框图如图 1 所示。

2 图象的预处理

2.1 滤波

由于激光三维视觉传感器所获得的距离图象包含大量的噪声,因此必须首先进行滤波。通

过大量的实验表明,从模糊程度和计算成本两方面来考虑,中值滤波处理距离图象的噪声效果最好。本文采用十字型中值滤波方式^[4]。

2.2 坐标变换

激光三维视觉传感器以单片双面镜作为二维扫描装置^[1~2],镜面既做水平方向旋转,又做垂直方向摆动。采集参数为:每帧 64 行,每行 223 点,水平扫描角为 $\pm 40^\circ$,垂直扫描角为 46° 。因此图象上任何相邻两行的夹角为 $\alpha_0 \approx 0.719^\circ$,任意相邻两列的夹角为 $\beta_0 \approx 0.36^\circ$ 。

为了求得直角坐标系下各采样点的坐标值必须进行仿射坐标系到直角坐标系的变换。取坐标系如图 3 所示。扫描镜中心为坐标原点; z 轴为扫描器的正前方; y 轴为水平方向(y 轴对应图象上的行数要通过参照物来标定); x 轴为垂直方向(x 轴对应图象上第 111 列)。设 P 点为位于图象上第 i 行,第 j 列的任意点,如图 2 所示。 P 点所在横向扫描面与水平面的夹角为

$$\alpha = \alpha_0 \cdot (i - i_0)$$

所在纵向扫描面与 x 轴所在的扫描面的夹角为

$$\beta = \beta_0 \cdot (j - 111)$$

坐标变换原理如图 3 所示,过 P 点做 PA 垂直于面 zox , PB 垂直于面 zoy ,再过 A 做 AP' 垂直于 oz ,连接 $P'B$ 。则有

$$\alpha_1 = \arctg(\tg \alpha \cdot \cos \beta)$$

由 r, α, β 便可计算出 P 点的坐标为

$$\begin{cases} x = r \sin \alpha_1 & (1) \\ y = r \cos \alpha_1 \cdot \sin \beta & (2) \\ z = r \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta & (3) \end{cases}$$

其中 r 是物体表面上的采样点到扫描镜的距离。

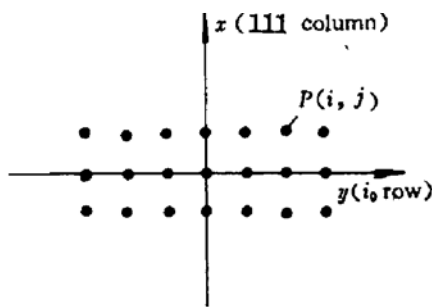


Fig. 2 Relation of Cartesian coordinate system and range image

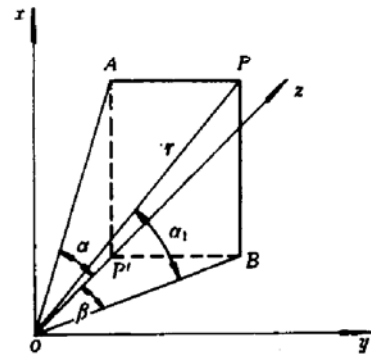


Fig. 3 Principle diagram of coordinate translating

2.3 边沿的提取

常用的边沿算子有三类:梯度算子、方向模板算子和拟合算子^[4]。如果利用这些算子来处理距离图象,不能得到满意的结果。我们以 B 样条曲面来逼近距离图象,取得了满意的效果。

三次均匀 B 样条曲面方程的矩阵形式为^[5]

$$P(u, w) = [U][N][V][N]^T[W] \quad (4)$$

其中

$$[U] = [u^3 \ u^2 \ u \ 1], [W] = [w^3 \ w^2 \ w \ 1],$$

$$[N] = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

[V] 为 4 × 4 特征顶点网格。

我们在图象平面中任取一曲面片

$$[V] = \begin{bmatrix} v_{i+0,j+0} & v_{i+0,j+1} & v_{i+0,j+2} & v_{i+0,j+3} \\ v_{i+1,j+0} & v_{i+1,j+1} & v_{i+1,j+2} & v_{i+1,j+3} \\ v_{i+2,j+0} & v_{i+2,j+1} & v_{i+2,j+2} & v_{i+2,j+3} \\ v_{i+3,j+0} & v_{i+3,j+1} & v_{i+3,j+2} & v_{i+3,j+3} \end{bmatrix}$$

对(4)式求导可得由 V 所张成的曲面片四个角点的导数。实际上只求一个角点的导数就行了。则有

$$P_x(0,0) = \{v_{i+2,j} + 4 * v_{i+2,j+1} + v_{i+2,j+2} - v_{i,j} - 4 * v_{i,j+1} - v_{i,j+2}\} / 12$$

$$P_y(0,0) = \{v_{i,j+2} + 4 * v_{i+1,j+2} + v_{i+2,j+2} - v_{i,j} - 4 * v_{i+1,j} - v_{i+2,j}\} / 12$$

一幅距离图象经坐标变换后可看成位置矢量形如 (u, w, z(u, w))，则梯度可由下式求得

$$g = \sqrt{z_u * z_u + z_w * z_w + 1}$$

3 障碍物的识别，位置、长、高的确定

3.1 位置的确定

我们采用轮廓及高度两级匹配来确定物体的位置。

(1) 轮廓匹配

首先用角度模板^[4]寻找物体的左右两角点，然后从左角点出发跟踪物体的轮廓，若轮廓是封闭的，则匹配成功。

(2) 高度匹配

我们的匹配准则为：凡高于地面 15cm 的，则认为是障碍物，否则不是障碍物上的点。

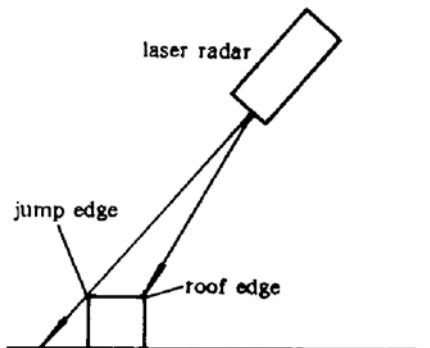


Fig. 4 Shows the effect of edges

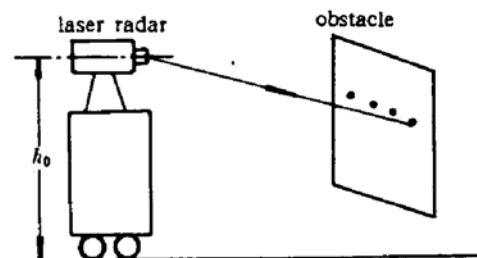


Fig. 5 Geometry for the calculation of obstacle height

由于轮廓线上的点至少有两个象素厚度，因此凡轮廓线上的点不一定是障碍物上的点^[6]，如图 4 所示。我们可以采用 3 × 3 的窗口逐点进行高度匹配。由此可以准确找到障碍物左上角的点。

3.2 高度的计算

因坐标系是建立在激光三维传感器的扫描镜上,而传感器离地面有一高度 h_0 , 如图 5 所示。垂直方向的直角坐标值为

$$h_z = r \sin \alpha_1$$

则障碍物的高度应为

$$h = h_0 + h_z = h_0 + r \sin \alpha_1$$

4 实验结果

图 6 (a), (b) 是用激光三维视觉传感器(安放在一辆运动的车上,传感器离地面的高度为 210 cm)在不同时刻所获得的同一物体的两幅距离图象。扫描场景为道路、障碍物以及道路两旁的树木,图中的障碍物为高 46 cm 的纸箱。图 6 (c), (d) 是对距离图象处理以后所得到的相应的二值图。利用本文的方法获得了障碍物的位置、高度及相对于车的运动速度。从两幅图象所获得的障碍物的高度基本上是一致的(49cm, 47cm),这表明本文的方法是有效的。

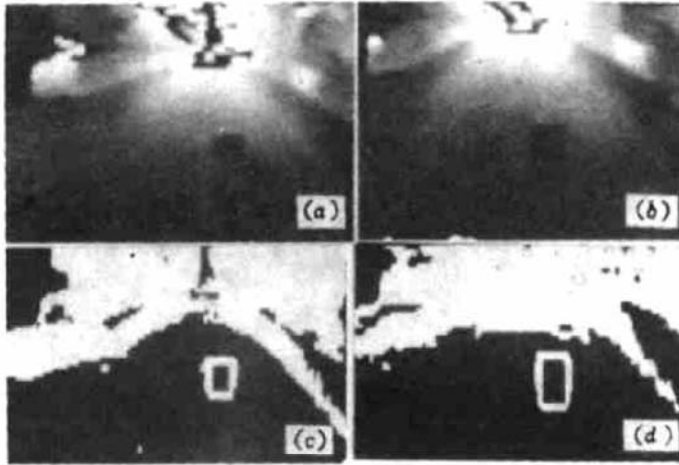


Fig. 6

- (a) Range image #1;
 (b) Range image #1;
 (c) Binary image #1;
 (d) Binary image #1;

参 考 文 献

- 1 贺安之, 罗必凯, 苗鹏程等. 激光相位成像雷达的研究. 光学学报, 1993, 13(7): 667
- 2 罗必凯, 贺安之, 倪晓武等. 转镜扫描的非线性研究. 中国激光, 1994, A21(7): 564
- 3 R. Terry Dunlay, David G. Morgenthaler. Obstacle avoidance on roadways using range data. *SPIE*, 1986, *Mobile Robots*, 727: 110~116
- 4 荆仁杰, 叶秀清, 徐胜荣等. 计算机图像处理. 杭州: 浙江大学出版社, 1988. 238, 319
- 5 R. P. Riesenfeld. Application of B-spline approximation to geometric problem of computer-aided designing. *Univ. Utah Comput. Sci. Dept. UTEC-CSC-73-126*, March 1973
- 6 Ezzet H. Al-Hujazi. Segmentation of Range Image. *Proc. SPIE-Int. Soc. Eng. (USA)*, 1983, 1095: 229~238

A Method of Road Detection from Range Image

Luo Bikai Chen Lin He Anzhi Miao Pengcheng

(Department of Applied Physics, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210014)

Abstract An image processing method for the range image acquired by a laser 3-D vision sensor is described. By this method, roads and obstacles can be detected automatically. The processing results of a series of real range images show that the method works effectively.

Key words laser three-dimensional vision sensor, range image, road detection