

# 三维电视测量

宋 建 中

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

**摘要** 本文从原理分析和实验验证两个方面研究电视测量技术用于机器人视觉系统中所产生的误差, 以及在机器人视觉中这种测量误差的影响。

**关键词:** 电视测量; 测距; 机器人视觉

## 1 引 言

十年前, 一具名为“海王星”(Neptune)机器人在美国卡内基—梅隆(Carnegie-mellon)大学的机器人学院诞生了。“海王星”与以往的机器人不同, 它像人一样, 利用两只“眼睛”去观察周围的环境, 看到前面的障碍之后便停下来, 想一想, 然后再进行下一步的行动, 最后安全地到达目的地。设计者用两台电视摄像机做“海王星”的“眼睛”, 用电子计算机做“海王星”的“大脑”, 赋予“海王星”以生命。在不需要主人预先提示的情况下, 能知道那儿有障碍物并绕过它。“海王星”是世界上第一具透过视觉思维去指挥身体行动而随意行走的双目机器人。

自从“海王星”诞生之后, 在世界上许多国家里引起了浓厚的兴趣。人们响往着制造一种可以为人类服务的机器人, 让它从事性质沉闷或具有危险的工作。例如在家里打扫卫生, 站岗放哨, 进入火场灭火, 等等。

但是, 由于“海王星”的行动太慢, 人们的这种向往到目前还没有实现。当时“海王星”用了一台Vax-11/780计算机, 一次最多能分析40个障碍物, 考虑每个行动的方向需要一分钟, 它在100平方米的房间内避开所有障碍物绕场一周花了大约一小时。

十年来, 不少专家, 学者花了不少心血, 努力提高这种能看、能想、能走的机器人性能, 以期达到实用的水平。从科学研究的角度来看, 所有的努力可以被概括为以下三个方面:

- a 提高三维电视测量系统的精度;
- b 提高视觉控制系统的响应速度;
- c 提高景物分析的能力。

本文要讨论的仅限于三维电视测量系统的精度问题, 并给出实验结果。

### 2 三维电视测量原理

三维电视测量采用摄像机做图像传感器，不用接触目标就可以测出物体在三维空间的位置。把电视摄像机的靶面放在三维坐标系的原点处，目标在空间的位置可以由它的高低角 ( $\alpha$ )，方位角 ( $\beta$ ) 和到原点的距离 ( $r$ ) 所确定 (图 1)。

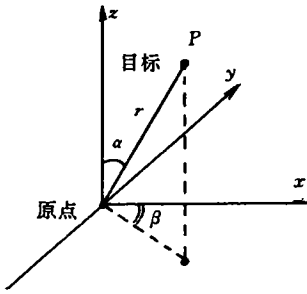


图 1 三维坐标中的目标  
P—目标, r—目标到原点距离,  
 $\alpha$  目标高低角,  $\beta$  目标方位角

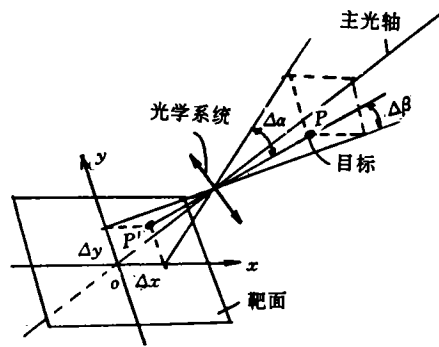


图 2 电视测角的原理示意图

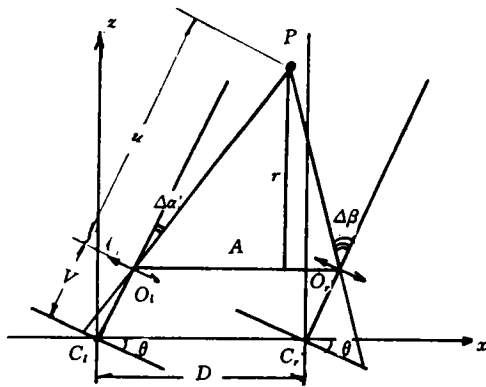


图 3 电视测距原理示意图  
u—物距, v—像距,  
A—两个光学系统光心距离  
r—目标距两个光学连线的距离,  
D—两个摄像机靶面中心距离

三维电视测量包括电视测角和电视测距。电视测角的原理如图 2 所示。假定电视光学系统视轴的空间指向已经知道，比如由经纬仪的轴角编码器给出，在电视摄像机的靶面上以视轴穿过靶面的一点为原点建立一个  $x - y$  坐标系。电视视场中的目标  $P$ ，在摄像机靶面上成像在  $P'$ ，那么目标 ( $P$ ) 偏离主光轴的角度  $\Delta\alpha$  和  $\Delta\beta$  就与靶面上像点 ( $p'$ ) 偏离坐标原点 ( $o$ ) 的脱靶量  $\Delta y$  和  $\Delta x$  相对应。所以，测出  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  就可以算出  $\Delta\beta$  和  $\Delta\alpha$ ，再加上视轴的空间指向，就知道了目标在空间的角位  $\alpha$  和  $\beta$ 。

在三维电视测量系统中，测量距离  $r$  有用光电结合和机电结合的不同方法，这里要研究的是用二台电视摄像机进行三角交汇测量实现测距的方法。其原理如图 3 所示。两台电视摄像机的靶面中心分别用  $C_L$  和  $C_R$  表示。摄像机可以模仿眼睛的转动，围绕通过各自的中心且

垂直纸面的轴转动。

根据电视测角的原理,  $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  可以实时测出, 摄像机视轴与  $Z$  夹角  $\theta$ , 两个摄像机靶面中心距  $D$ , 以及光学系统焦距  $f$  都是已知的, 所以根据三角形的边角关系和成像公式:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1)$$

$$A = D - 2 \times v \times \sin\theta \quad (2)$$

$$r = \frac{A \times \cos(\theta + \Delta\alpha)\cos(\theta + \Delta\beta)}{\sin(2\theta + \Delta\alpha + \Delta\beta)} \quad (3)$$

只要测出  $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  就可以利用 (3) 式算出目标的距离。

### 3 三维电视测量的精度

由图 4 可见, 两台摄像机的瞬时视场 (一个像元对应的视场) 交汇时形成一菱形区 (如图 4 中阴影区) 如果目标落在这个区内, 目标准确位置是不能知道的, 因此也叫这个区为不确定区, 这个区域的大小就是三维电视测量的理论误差。当然, 如果视频信号处理过程中, 目标图像发生了失真或位移。那么再来计算脱靶量也就自然不准确了, 还有, 视轴位置的精度也会带来测误差。但后面提到的两种误差比起不确定的区的影响几乎可以忽略不计。

因此, 这里只分析菱形不确定区对测量精度的影响。测角精度主要决定于瞬时视场的大小, 瞬时视场越小, 测角精度越高。瞬时视场可以按下式估算:

$$\text{瞬时视场} = \frac{\text{靶面尺寸}}{\text{焦距} \times \text{有效像元数}} \quad (4)$$

例如, 一个有效像元数  $512 \times 512$  的  $2/3''$  CCD 摄像机, 靶面尺寸为  $8.8 \times 6.6$  mm, 焦距 16mm, 瞬时视场为  $3.5'$ 。图 4 相当于图 3 中  $\theta=0$  的情况。从图 4 中可见:

$$\Delta W = 2 \times \frac{2\pi(u - \Delta h)}{360} \times \Delta\Phi \quad (5)$$

$$\Delta\Phi = \frac{\tan^{-1}(b/f)}{N} \quad (6)$$

令

$$2 \times \frac{2\pi}{360} \times \Delta\Phi = k$$

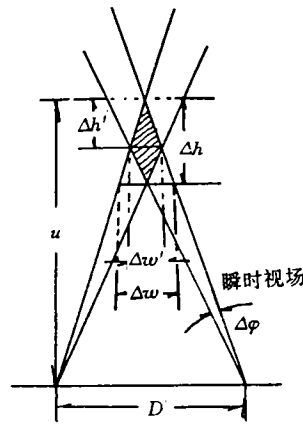


图 4 电视测量精度示意图

$\Delta w'$ —菱形区的横向宽度

$\Delta h$ —菱形区的纵向长度

$$\Delta h = \frac{k \times u^2}{D + K \times u} \quad (7)$$

其中  $b$  为 CCD 靶面水平尺寸,  $f$  为光学系统焦距,  $N$  为 CCD 一行的像元数,  $u$  为物距,  $D$  为两个摄像机的距离。

从 (7) 式可见, 测量的误差近似为  $\pm \Delta h / 2$ , 它有个明显的特点, 即目标的距离越近, 测距绝对误差越小。例如, 当  $D = 60\text{mm}$ ,  $b = 8.8\text{mm}$ ,  $N = 512$  时,

若  $u = 2000\text{mm}$ , 则  $\Delta h = 125\text{mm}$

若  $u = 1000\text{mm}$ , 则  $\Delta h = 64.5\text{mm}$

故  $\Delta h / u \approx 6.5\%$

## 4 三维电视测量实验

为了研究三维电视测量的精度, 我们进行了各种实验。实验用的电视摄像机为  $2/3''$  CCD 摄像机, 其有效像元为  $512 \times 512$ 。光学系统焦距  $16\text{mm}$ 。实验方法是用一台摄像机架在一个光学导轨上, 当采集一幅图像后, 把摄像机平移  $40\text{mm}$  再采集一幅图像。用这两幅图像代替从两个相距  $40\text{mm}$  互相平行放置的摄像机所得到的图像, 这样可以先不考虑两个摄像机的差别和它们的校准问题。

以这两幅图像中一幅为基准图, 抽取该图像中若干特征点, 然后用相关匹配的方法在另一图中自动寻找与基准图中特征点相匹配的位置。最后用三角测量方法计算出这些特征点所代表的目标的距离。实验方框如图 5 所示。由于两台摄像机与  $Z$  轴平行放置, 所以 (3) 式简化为:

$$r = \frac{D}{\tan \Delta \alpha + \tan \Delta \beta} \quad (8)$$

为了集中研究相关匹配的精度问题, 被测的物体是一张白纸上的一条黑色竖线, 将它从  $0.5\text{m}$  开始, 每次增加  $0.1\text{m}$  向远处移动, 直到  $4$  米远为止。物体的实际距离 ( $D_R$ ) 是用米尺测量的, 电视测量系统自动测出的结果用  $D_m$  表示, 两者关系曲线由图 6 给出, 图 6 给出的实验结果与 (7) 式给出的理论分析结果非常接近图 7 给出一个实际测量实验用的例子, 图 7 (a) 和图 7 (b) 是两次采集的图像。图中最近的是一个纸箱子, 它后面是一个加工好的园柱形物体, 再后面是个可移动的台灯, 后面还有些其它杂物。图 8 给出三维电视测量的结果。

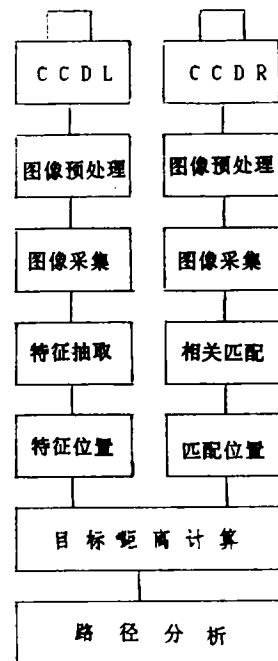


图 5 实验方框图

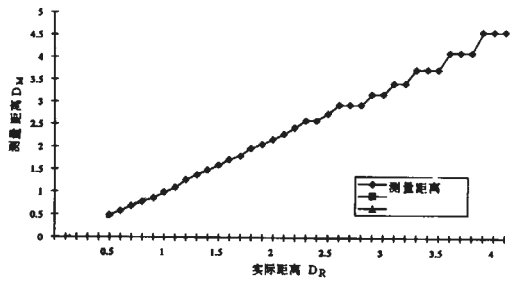


图6 目标实际距离与电视测量的结果关系图

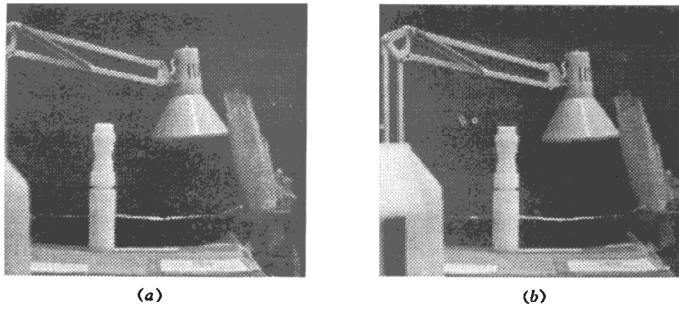


图7 实验中的两次采集的图像

图9给出了障碍物分布的示意图,图中用不同颜色的区域代表了不同距离区间的障碍物,将图9与图7对照可以看出图9给出了障碍物的主要特征部分的空间位置分布情况。黑色区为障碍物在0.5~1m区间,灰色区为障碍物在1~1.5m区间。整个视场分成 $15 \times 14$ 个区域。障碍物空间位置也表示在图9中。

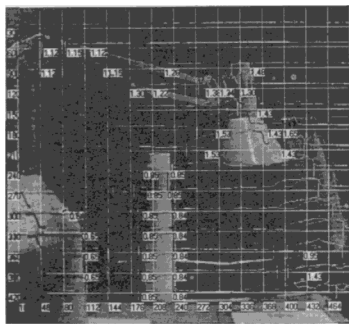


图8 三维电视测量结果

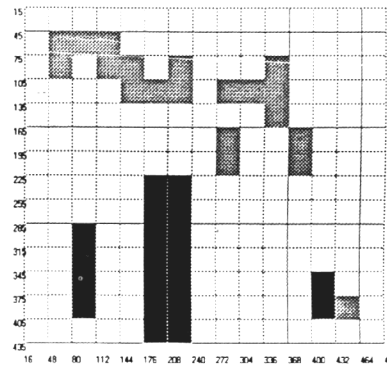


图9 路径障碍物分布示意图

## 5 结 论

从以上原理分析和实验结果表明,由两套电视测量系统构成的双目机器人视觉系统,测距误差可以用

$$\Delta h = \frac{k \times u^2}{D + k \times u} \quad (9)$$

估算。 $k$ 是个系数,与瞬时视场成正比, $u$ 为目标距离, $D$ 为两个摄像机的距离。

由于机器人视觉系统的特点,工作距离不太远,两个摄像机之间距离很近,视场角又比较大,所以测量误差比较大。适当地选择系统参数,测量误差不会妨碍机器人下述视觉功能地发挥;即是发现障碍物的位置并做为伺服系统的位置检测元件实现对机器人的自动控制。

当摄像机有效像元为 $512 \times 512$ ,视场角 $30^\circ$ ,两台摄像机相距 $40\text{mm}$ 时,测角的精度为 $3.5'$ ,测距误差约为目标真实距离的 $\pm 3.3\%$ 。

目前已有从 $512 \times 512$ 到 $2048 \times 2048$ 像元的各种型号 CCD 摄像机出售,选用高分辨率的 CCD 摄像机或缩小视场,让 CCD 摄像机像人的眼睛一样转动来扩大观察范围都是提高测量精度的途径。

## 参 考 文 献

- [1] H. Harlyn Baker, Edge based stereo correlation. Proc. SRPA, 1980, 175: 168
- [2] H. P. Moravec. The standard cart and the CMU rover. Proc. IEEE, 1983, 71 (7)
- [3] J. W. Conrtney, M. J. Magee, J. K. Aggarwal, Robot guidance using computer vision, Pattern recognition. 1984, 17 (6): 585—592
- [4] Ernst Triendl, David J. Kriegman, Stero vision and navigation within buildings. Proc. IEEE, 1987
- [5] A. C. Kak, B. A. Roberts, K. M. Andress, R. I. Cromwell, Experiments in the integration of world knowledge with sensory information for mobile robots. Proc. IEEE, 1987
- [6] Larry Matthies, Steven A. Shafer, Error modeling in stereo navigation. Proc. IEEE, 1988, RA—3 (3)
- [7] Allen M. Waxman, et. , A visual navigation system for autonomous land vehicles. Proc. IEEE, 1987, RA—3 (2)
- [8] David J. Kriegman, Thomas O. Binford, Stereo vision and navigation in buildings for mobile robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1989, 5 (6)
- [9] William M. Wells, Visual estimation of 3-D line segments from motion-a mobile robot vision System. IEEE Transactions on robotics and automation, 1989, 5 (6)
- [11] Juyang Weng, Paul Cohen, Nicolas Rebibo, Motion and structure estimation for stereo image sequences. IEEE transactions on Robotics and Automation, 1992, 8 (3)

## Three-Dimensional TV Measurement for Robot Vision System

Song Jianzhong

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)*

### ABSTRACT

In this paper, the study of 3-d TV measurement for robot vision system is presented. Discussion of the error of the 3-d TV measurement is the focal point of this paper.

**Key workds:** Television Measurement, Distance measurement, Robot vision