

合成全息中透视图插值的空间关系

竺子民 陈海清

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

摘 要 针对合成全息在拍摄透视图序列中存在的困难, 分析了插值的空间关系, 提出基元图像的插值方案, 从而大大减少需要拍摄的基元图像数量, 使得普通相机实时记录成为可能。实验表明, 这一构想是可行的。

关键词 合成全息, 体视, 插值。

获得立体视觉的途径除了二维(视差)图像, 还有三维波前再现。合成全息通过再现具有视差的二维图像来获取三维视觉, 这样便能在自然光下记录二维透视图序列, 再回到实验室完成合成, 因此能反映宏大的自然场景^[1], 特别是全视差合成全息^[2], 同时保留了水平和垂直方向上的视差, 当观察者上下或左右移动头部时能从不同视角看到原物的像, 这一点较之其它全息技术独具特色。

合成全息图的主要困难在记录透视图。要得到大画面、基本无跳跃的效果, 每隔一个瞳孔的距离需要一幅透视图。设瞳孔大小为 4 mm, 如要得到 1200 mm × 1200 mm 的观察范围, 共需 90000 幅透视图, 很难设想在现场一次拍摄这么多图像。

本文针对记录透视图的困难提出插值方案, 从而大大减少拍摄量, 使得第一阶段的普通相机实时记录成为可能。据作者所知, 这个工作是首次进行。

1 插补像点的空间位置

首先设想用单个相机记录透视图, 相机要在一个与其光轴垂直的平面上, 沿交点间隔为瞳孔尺寸的一个二维虚拟网格运动, 在每个交点上记录透视图, 设此网格交点共有 $N \times N$ 个。现在考虑构造一种新相机, 记录面是小相机(称元相机)阵列, 比如 9 个元相机, 元相机之间的距离远大于二维虚拟网格上的交点距离, 它们在同步信号的协调下, 同时开闭快门, 一次记录 9 幅透视图。显然, $9 \ll N \times N$ 。本文就是利用这 9 幅稀疏间隔的透视图作为控制点, 把缺少的 $N \times N - 9$ 幅透视图补起来。

设物点 P 的像为 I , $I^* = (U, V, S)^t$ 为 I 的投影座标, $(x, y, z)^t$ 为 P 的座标, 则

$$I^* = (U, V, S)^t = T(x, y, z, I)^t \quad (1)$$

式中 S 为相机的放大倍率, T 为 3×4 的相机投影矩阵。为简洁起见, 仅考虑元相机阵列中水

平方向上相邻的两个, 其结果不难推广到二维阵列。可以推得

$$T = \begin{bmatrix} [(C_1 \times C_2) \times C_i]^t & 0 \\ (C_1 \times C_2)^t & 0 \\ [(C_1 - C_2) \times (C_1 \times C_2)]^t & |C_1 \times C_2|^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, C_1 、 C_2 分别为左右元相机节点矢量, i 取 1 或 2 时, T 分别表示左右元相机的投影矩阵。

将相距为 L 的元相机拍摄的两幅图像作为控制点, 按要求应把控制点之间缺少的像插补起来。可以设想这些缺少的像本该由左元相机向右每次移动 S 拍摄下来, 移动 n 次后 $nS = L$ 。左右控制点的匹配点灰度不一定是一样的, 要决定任意第 n 次移动后的任意位置上像素 I 的灰度, 必须确定 I 与左右图像中的哪一对像素对应, 再由这一对像素的灰度推出 I 的灰度。所以, 找到同一物点对应的两个匹配像点, 是正确插补的首要条件。这实质上是体视问题。

体视^[3, 4]是将每个一定间隔的相机拍摄的二维图像变成三维信息的过程。比较不同图像中像点相似性总会引入大量的虚假匹配, 虽然一般只有一对匹配是正确的。为了减少虚假匹配的可能性, 一般不对所有像点直接匹配, 而是选择一些特征, 例如点、线、段、块等, 然后比较两幅图像中这些特征的相似程度, 一旦特征匹配完成, 就很容易通过(1)式、(2)式确定这些特征对应的空间深度即 z 值。特征匹配的具体方法将在下一节讨论, 现在考虑如何确定稀疏特征点之间大量像点在任意元相机中的像点位置。

把物体的连续表面看成由许多小平面组成, 可以大大简化问题。图 1 表示三维空间中一个

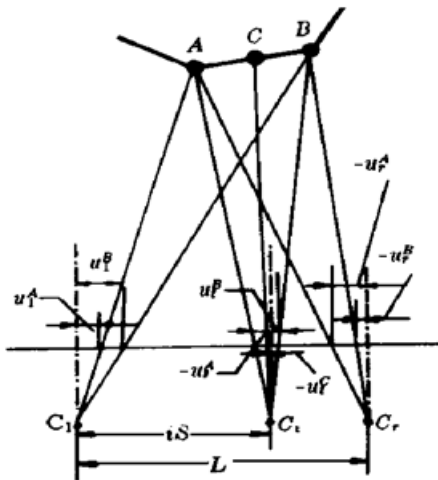


Fig. 1 Segment-relation of object and image

一个小平面在一系列间隔为 S 的元相机中的成像情况, 这里的像面在节点之前, 是为了避免座标反转的不便。由于只考虑一个水平截面, 所以这个小平面映射为一个小线段 AB 。 A 、 B 两点是该小平面与其邻接平面的交接点, 灰度一般有明显变化, 可以作为特征点检测出来。现在设左边一个元相机中 A 、 B 像点的位置 u_l^A 和 u_l^B 以及右边一个元相机中 A 、 B 像点的位置 u_r^A 和 u_r^B , 由前面的假设, 还知道 u_l^A 和 u_l^B 、 u_r^A 和 u_r^B 之间的匹配关系。要插补左右两个元相机之间的任意第 i 个虚拟元相机中任意位置 u_i^{arb} 上的像点, 必须知道这个像点对应于左右两个元相机中的哪两个像点, 从而根据这两个像点的灰度确定 u_i^{arb} 处像点的灰度。假定 u_i^{arb} 位置对应的是物点 C , 即 $u_i^{arb} = u_i^C$, 本文所采取的步骤是先由 u_l^A 、 u_r^A 、 u_l^B 、 u_r^B 求出三维空间中线段 AB 的直线方程, 再由 u_i^C 、 C_i 的边线与 AB 直线的交点找到物点 C , 最后由物点反算到左右元相机的像点。

设所有元相机节点的像面的距离为 f , 考虑小平面近似条件, 由(1)式、(2)式可推出 C 点在左右元相机中的像点位置

$$u_l^C = (b' - b)f / (b'a - a'b), \quad (3)$$

$$u_r^C = u_l^C - Lf(a - a') / (b'a - a'b) \quad (4)$$

式中 $a = f/u_l^C$, $b = -iSf/u_l^C$, $a' = (u_l^A - u_r^A - u_l^B + u_r^B) / (u_l^A u_r^B - u_r^A u_l^B)$,

$$b' = fL(u_l^B - u_l^A) / (u_l^A u_l^B - u_r^A u_r^B)$$

u_l^C 处像点的灰度值取决于景物光照的分析和对计算速度的要求, 可以是 u_l^C 和 u_r^C 处灰度的高

阶拟合,也可以是简单的线性关系。

2 体视匹配

本文提出的匹配方案是基于图像连续边缘的点匹配。它包括下列步骤:

1) 滤波和过零点检测 各个图像分别进行,滤波函数形式是高斯函数的拉普拉斯变换^[5]

$$\nabla^2 G(r) = (r^2/\sigma^2 - 2) \exp(-r^2/2\sigma^2)$$

检测滤波图像的过零点,就找到了图像的边缘;

2) 匹配 边缘点匹配的条件是:相近的灰度梯度,相近的左右邻关系,而且要满足唯一性要求,即左图中的一个边缘点只能与右图中的一个边缘点匹配,这是为了避免虚假匹配;

3) 插补 按(3)式在每个元相机位置上把所有介于边缘点之间的点补齐。

图 2 给出了上述插补的实验结果。图 2(a) 和图 2(b) 是 $289 \times 187 \times 8$ 的原图像对,图 2(c) 是插补图像之一。所有插补像点的位置和灰度均作了线性近似处理。从实验结果可以看出,绝大多数的插补像点与原图像有基本正确的位置和灰度关系,但也有一部分细节发生了变化,这是匹配不当引起的。匹配不当的原因在于匹配只在同一水平线上的边缘点之间进行,没有考虑边缘点之间的相互联系。

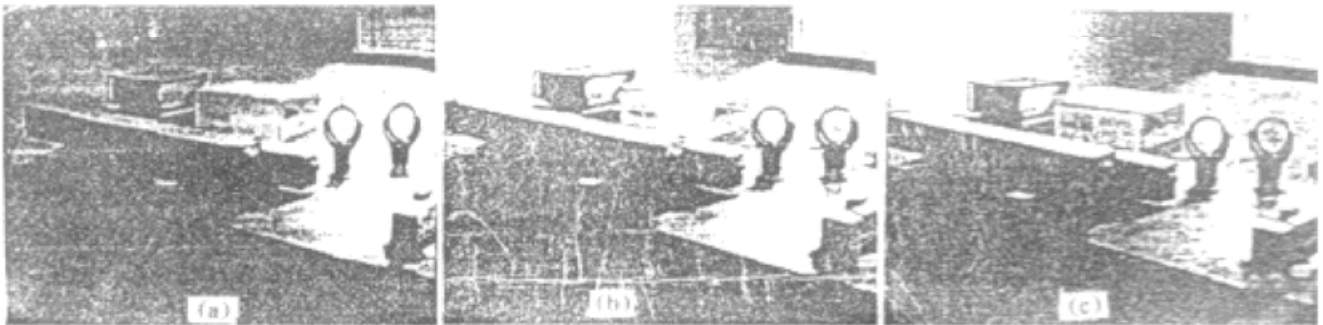


Fig. 2 (a) Original left image, (b) Original right image, (c) Interpolation of image

主频 50 MHz 的微机运行上述程序,完成两幅图像的处理需花时 3 min。

需要说明,本文提出的插值方法并不能保证所有情况下记录的数据完整无缺。当原始景物表面横向变化比较快、纵向变化比较大,且元相机阵列中节点的间隔也比较大时,有些信息(例如窄口深洞内的物体)就会丢失。因此,原始透视图序列时,应预先估计景物深度的变化情况,相应调整节点间隔,使信息的损失最小。另外,在合成全息中本方法再现像是近似连续的,它不能生成毫无跳跃的连续图像,因为相邻单元全息图互不重叠,这些单元全息图之间的间隔,决定了各个再现像之间存在间隔。

即使这样的初步实验,结果也已经表明,体视插补是减少实地拍摄图像数量的有效方法,通过这一途径,很可能达到合成全息对动态场景的记录显示。

参 考 文 献

- [1] I. Prikyrl, Holographic maps. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(16): 2882~ 2885
- [2] M. Yamaguchi, N. Ohyama, T. Honda, Holographic three-dimensional printer: New method. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(2): 217~ 222
- [3] U. R. Dhond, J. K. Aggarwal, Structure from stereo—a review. *IEEE Trans. SMC*, 1989, **SMC-19**

(6) : 1489~ 1510

- [4] S. D. Cochran, G. Medioni, 3-D surface description from binocular stereo. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, **PAMI-14**(10) : 981~ 994
- [5] W. E. L. Crimson, Computational experiments with a feature based stereo algorithm. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1985, **PAMI-7**(1) : 17~ 34

Spatial Relationship of Interpolation of Perspective Images in Synthetic Holography

Zhu Zimin Chen Haiqing

(Department of Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(Received 13 July 1997; revised 17 December 1997)

Abstract Synthetic holography faces the difficulty of recording tremendous number of pictures. The presented idea of interpolation aims toward resolving it. The spatial relationship required by algorithm of interpolation has been given. The scheme greatly reduces the number of pictures which have to be photographed, and makes real-time recording possible. Experimental results show that the idea is feasible.

Key words synthetic hologram, stereo vision, interpolation.