

基于射影不变量的三维重构

李世航, 胡茂林

(安徽大学 智能计算与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039;

安徽大学 数学与计算科学学院, 安徽 合肥 230039)

摘 要:文中提出了利用射影不变量来求解基于图像对三维深度恢复问题。方法的基本思想是对于立体图像,利用密度段元素,引入了两个射影不变量来恢复密度段的深度信息。从这两个不变量,能推导立体图像中匹配的密度段对所满足的关系。利用这个关系,实现了密度段之间的匹配运算。这个方法能直接地从输入图像中得到密集和准确的深度,对变形的图像具有鲁棒性。

关键词:射影不变量;密度段;立体图像

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1005-3751(2006)04-0110-03

3D Reconstruction Based on Projective Invariants

LI Shi-hang, HU Mao-lin

(Ministry of Edu. Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China;

School of Mathematics and Scientific Computing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: A new projective invariant-based technique for recovering depth information from stereo images is presented. The basic idea of the method is to see intensity segments as primitives for stereo matching. To recover the depth information of intensity segments, two projective invariants are not reduced. From the two invariants, can derive a relation that should be satisfied among the matching pairs of intensity segments on the stereo images. By using the relation, the matching computation of the intensity segments can be performed easily. The proposed method can obtain a dense and accurate depth map directly from the input images. It is robust to both image distortions and occlusions.

Key words: projective invariant; intensity segments; stereo images

0 引言

从一对图像恢复三维场景的深度是计算机视觉中的重要课题,也始终是热点问题^[1,2]。根据实际要求的不同,一般有两种恢复方法:第一种是基于稀疏对应点(或匹配点)的结构恢复,所用的方法是三角形法,即理论上,从两个图像上对应点反射的光线应该交于空间中的一点,成为一个三角形;第二种,是基于偏微分方程的稠密恢复,这个方法是基于对应点的图像灰度应该相同。这两种方法都有优缺点,尤其是第二种方法,计算速度较慢,对场景的要求一致,且不能有阻挡。

在立体匹配中有两个主要的挑战性问题:匹配的多选择和匹配的残缺。匹配的多选择性是由于场景的重复结构(比如人造环境)而产生多选择匹配,残缺是由于阻挡。这两者都引起不希望的错误匹配,上述方法都不允许出现这两种情况。因此,在目前的立体视觉中的一个关键问题

就是:如何确定不同类型的错误匹配和建立对立匹配策略。

处理这个问题的方法主要可以分成两类:基于特征的或基于区域^[3,4]。前者提取图像“好”的特征,比如拐角点或直线段,然后在立体图像中匹配起来^[1];基于区域的方法是通过计算密度区域的相关或平方和的差来匹配密度块^[3]。两种方法都有一定的局域性。基于特征的方法只产生稀疏的测量值,它只在特征点或线段上得到深度的信息,因此需要用插值方法来重构整个可见的曲面。基于区域的方法需要假设对应密度模式在立体图像中没有射影变形。因此,基于区域的方法对于变形的图像就不太鲁棒。进一步,事实上在许多实际场景中都会发生阻挡区域,它产生了深度的不连续,在常用的立体算法中都忽略阻挡的影响,因此在阻挡点的结果非常差。

近来,射影变形和阻挡现象得到了许多关注,一些研究人员重新考虑了这个问题^[5-7]。文中提出基于射影不变量的方法来解决立体匹配问题,这个方法可以处理射影变形和阻挡问题。首先基于稀疏的对应点计算了基础矩阵,然后利用基础矩阵,对图像进行修正(对像平面进行一个平面射影变换得到),使得它们类似经典的标准摄像机

收稿日期:2005-09-28

作者简介:李世航(1970-),男,安徽长丰人,实验师,研究方向为计算机视觉、图像处理;胡茂林,博士,教授,研究方向为计算机视觉、图像处理、偏微分方程。

对拍出来的图像。因此,在阻挡约束下,立体分析可以沿着对应的扫描直线进行。为了对射影变形和阻挡得到一个鲁棒的结果,可利用密度段作为匹配元素,它们是定义在对应区间上的密度函数,通过检测它们在对扫描线上的密度变化能很容易地得到。一旦所有的密度段提取出后,可利用它们来完成立体匹配的任务。引入两个射影不变量:一个是关于密度的约束;另一个是关于位置的约束。从这两个射影不变量,可以进一步推导在立体图像中匹配密度段对之间应该满足的关系,利用这个关系实行密度段的匹配运算。首先利用多项式拟合的方法来逼近密度段;然后,对所有候选的密度段,计算它们的匹配,通过匹配检验的候选作为解接受下来,剩下的候选将进一步研究直到发现了对应或检测到阻挡。

1 图像修正

给定一对图像,在图 1 中可以看到对于其中一幅图像的每一点 x ,在另一幅图像中存在一条对应的极线 I' 。在第二个图像上,任何与该点 x 匹配的点 x' 必然在极线 I' 上。极线是通过点 x 和第一个摄像机中心 C 的射线在第二幅图像上的投射。因此,存在一个从一幅图像上的点到另一幅图像上它的对应极线的映射 $x \rightarrow I'$,这个映射用矩阵表示就是

$$x'Fx = 0 \quad (1)$$

其中 F 是 3×3 的矩阵。在齐次表达式下, F 有 8 个自由度,因此需要 8 个对应点来计算。对更多的对应点,可以采用各种鲁棒算法,比如随机一致采样算法,这些算法网上都可以找到。

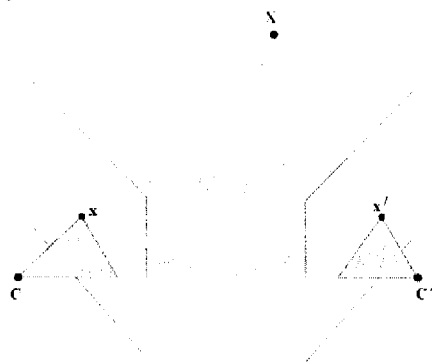


图 1 两个图像的极几何

下面对图像进行射影变换,使得两幅图像在一张平面上,且对应的极线是平行的,有相同的 y 坐标。

假设每一幅图像的射影变换是 H ,则直线的变换是

$$I' = H^{-T}I \text{ 或 } I = HI'$$

分别通过这个射影变换将两幅图像变到标准位置, H 的选择应使两幅图像的射影变形尽可能地少。一个有效的选取范围是:

$$H = [e']_x F + e' \pi^T$$

其中 e' 是第二个图像的极点, π 是极平面, $[e']_x$ 表示由 e' 生成的反对称矩阵。

2 立体匹配的建模

文中将建立立体匹配的模型,首先引入了世界(三维)空间等价的表示,作为结果,立体匹配问题可以看作利用光度不变性在等价空间中寻找零路径。为了防止射影变形和扭曲,从而得到更加鲁棒的结果,这里引入另一个射影不变量,从这两个射影不变量,能推导在密度段匹配对之间应该满足的关系。因此,代替运用基于像素的匹配,可以用基于密度段匹配来研究立体匹配问题。

2.1 摄像机几何

假设一个标准的摄像机构造。图 2 表示了这个摄像机几何,摄像机的光轴是平行的且相对距离为 b ,原世界坐标系的原点是在左边摄像机的中心点上, Z 轴沿着光轴指向,联结摄像机中心的基线垂直于光轴与 X 轴方向相同。另外,左边和右边的摄像机坐标系分别由 $o_l u_l v_l$ 和 $o_r u_r v_r$ 给定。

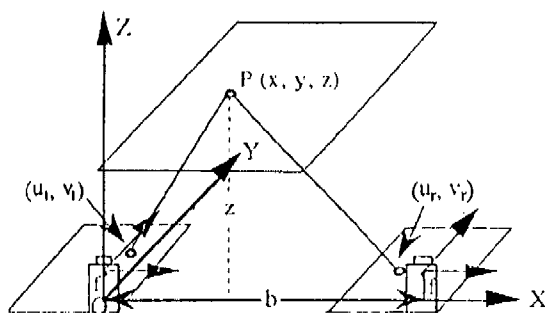


图 2 摄像机成像几何

2.2 匹配空间

正如图 2 所示,在空间考虑一点 $p(x, y, z)$ 。假设这个点在左边和右边像平面上的投影分别为 (u_l, v_l) 和 (u_r, v_r) 。若 f 是两个摄像机的焦距,则由相似三角形得:

$$u = u_l = f \frac{x}{z}, v = v_l = f \frac{y}{z}, d = u_l - u_r = f \frac{b}{z} \quad (2)$$

其中 d 是视差。

式(2)定义了从空间 xyz 到匹配空间 urd 的变换。这两个空间有许多有意义的联系。考虑在空间中的一个平面

$$ax + \beta y + \gamma z + \sigma = 0 \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得到:

$$au + \beta v + \left(\frac{\sigma}{b}\right)d + \gamma f = 0 \quad (4)$$

式(4)对应于在空间中一个匹配的平面。

从上面的陈述,能够得到一些重要的结论:由式(2)定义的变换将世界空间中的一个平面映射到空间中的一个匹配的平面,特别地,从式(2)得出:这个变换将世界空间中深度平面(有相同常数 z 的集合)映射到对应空间匹配的等视差平面(有相同 d 的集合),这是因为在系统中 b 和 f 是实数,当 z 取常数值时, d 也是常数,对于这样的摄像机几何,等深度平面是平行于两个摄像机像平面的一个平面,因为所有等深度平面覆盖了整个空间,从等深度平面到等视差平面将给出三维空间一个完整的描述。

2.3 射影不变量

此处将介绍两个重要的射影不变量,第一个不变量是光照不变量。为简单计,假设在场景中可见曲面为 Lambert 曲面,因此,从 Lambert 曲面的反射性质,众所周知密度是光照不变的。

若 P 为曲面上可见的一点,它在左和右像平面上透视投影分别为 (u_l, v_l) 和 (u_r, v_r) ,由上文得:

$$I_l(u_l, v_l) = I_r(u_r, v_r) \quad (5)$$

其中 $I_l(u_l, v_l)$ 和 $I_r(u_r, v_r)$ 分别是定义在左和右像平面上的图像密度。

第二个不变量是从一直线段在左边和右边像平面投影之间关系推导出来的。这里,有意义的直线段是限制在对应的极平面上的对应极线。

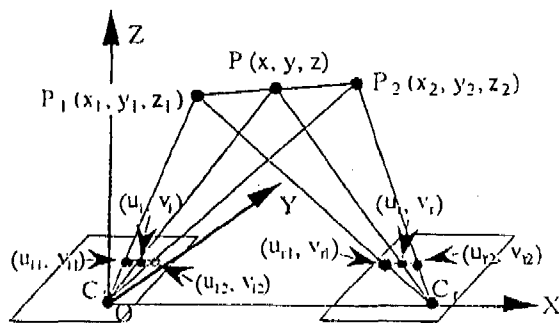


图 3 空间中的直线段在两幅图像中的投影关系

正如图 3 所显示,若 $\overline{p_1 p_2}$ 是在空间中的一直线段且 $p \in \overline{p_1 p_2}$,则从式(2), p_1, p_2 和 p 左边像平面的投影为:

$$\begin{aligned} (u_{11}, v_{11}) &= f\left(\frac{x_1}{z_1}, \frac{y_1}{z_1}\right) \\ (u_{12}, v_{12}) &= f\left(\frac{x_2}{z_2}, \frac{y_2}{z_2}\right) \\ (u_l, v_l) &= f\left(\frac{x}{z}, \frac{y}{z}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

类似地,在右边像平面对应的投影可以记为:

$$\begin{aligned} (u_{r1}, v_{r1}) &= f\left(\frac{x_1 - b}{z_1}, \frac{y_1}{z_1}\right) \\ (u_{r2}, v_{r2}) &= f\left(\frac{x_2 - b}{z_2}, \frac{y_2}{z_2}\right) \\ (u_r, v_r) &= f\left(\frac{x - b}{z}, \frac{y}{z}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

现在,考虑下面的比率:

$$\frac{u_l - u_{l1}}{u_{l2} - u_{l1}}, \quad \frac{v_l - v_{l1}}{v_{l2} - v_{l1}} \quad (8)$$

其中, $i = l, r$ 是表示左、右摄像机的指标。

将式(6)代入式(7)和式(8),得到射影不变量的充要条件是:

$$\frac{u_l - u_{l1}}{u_{l2} - u_{l1}} = \frac{u_r - u_{r1}}{u_{r2} - u_{r1}} \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow (x_1 z - x z_1)(z_2 - z_1) = (x_1 z_2 - x z_2 z_1)(z - z_1)$$

因此,对这样的摄像机结构,由式(9)定义的比率是一个射影不变量。应该指出对在空间中的任何一条线段,上面的结论都存在。

注意虽然上面的推导是在特别的摄像机构造下进行的,得到的结论有一般意义。由式(9)定义的不变量是与摄像机坐标系的选择无关的。如果不考虑图像边缘的影响,在任何摄像机构造下的像通过射影变换对应于标准摄像机构造下的像。

在多摄像机情形下,上面的结果也是对的,但是共面条件要求摄像机中心放置在同一条直线上。

2.4 匹配密度段之间的关系

下面给出在立体图像中匹配密度段对之间应该满足的关系。

正如图 3 所示,从极线约束可知道 $\overline{p_1 p_2}$ 在左边和右边像平面上的投影在对应的水平扫描线上。如果定义密度段为对应射影区间上密度值的集合,则 $\overline{p_1 p_2}$ 在左边和右边对应的密度段可以记为:

$$I_i(u_i, v_i), u_i \in [u_{i1}, u_{i2}] \text{ 且 } v_i \equiv v_{i1} \equiv v_{i2} \quad (10)$$

其中 $i = l, r$ 。因为由式(9)定义的比率是一个射影不变量,对 $p \in \overline{p_1 p_2}$ 有

$$\frac{u - u_{l1}}{u_{l2} - u_{l1}} = \frac{u_r - u_{r1}}{u_{r2} - u_{r1}} \quad (11)$$

另一方面,因为在空间点的密度不变性,得:

$$I_l(u_l, v_l) = I_r(u_r, v_r) \quad (12)$$

对这样的摄像机构造,这两个摄像机是水平配准的,即 $v_l = v_r$ 。因此,式(12)能重新写成:

$$I_l(u_l) = I_r(u_r) \quad (13)$$

现在,引入变换 $u_l' = u_l - u_{l1}, u_r' = u_r - u_{r1}$,因此式(13)变为:

$$u_r' = a u_l' \quad (14)$$

显然式(14)定义的变换不改变在左边和右边像平面上密度之间的关系,因此,

$$I_l(u_l') = I_r(u_r') \quad (15)$$

将式(15)代入式(14)以后,有:

$$I_l(u_l') = I_r(a u_l'), u_l' \in [0, u_{l2} - u_{l1}] \quad (16)$$

式(16)给出匹配密度段对之间应该满足的关系,可以看出除了沿着水平扫描线有伸展或收缩外,两个密度段是相同的。

3 结 论

文中提出了一个基于密度段的方法来求解立体视觉问题。所提出的方法有一些优点,它对图像的变形或阻挡都鲁棒。

参考文献:

- [1] Youang T Z. Handbook of pattern recognition and image processing: computer vision, Volume2[Z]. New York: Academic Press, 1994. 239-317.
- [2] Hartley R, Zissermann A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

(下转第 124 页)


```
typedef struct baginfo { //包头信息
byte prototype; //协议类型
unsigned short bagdatalen; //包数据长度
unsigned short bagcommand; //包命令
unsigned long UID; //用户 UID
byte none[TCP_RETAIN_LENGTH]; //保留
}BAGINFO, *LPBAGINFO;
```

利用这种方法,很好地解决了快速区分信息的来源和种类。

3.3 TCP 服务器端的负载均衡算法

TCP 服务器所完成的服务的类型是连接数目多,每次交换的数据量小。系统的瓶颈不在于流量,采用权重轮循均衡的静态均衡算法可以很好地解决数据量较小的情况。算法思想是根据服务器的不同处理能力,给每个服务器分配不同的权值,使其能够接受相应权值数的服务请求。例如:服务器 A 的权值被设计成 1, B 的权值是 3, C 的权值是 6, 则服务器 A, B, C 将分别接受到 10%、30%、60% 的服务请求。此种均衡算法能确保高性能的服务器得到更多的使用率,避免低性能的服务器负载过重。

3.4 UDP 服务器端的负载均衡算法

UDP 服务器完成的业务类型与 TCP 刚好相反,它处理的是视频音频信息的转发,连接数目少,每次交换数据量大,系统的瓶颈在于流量^[1]。

算法思想^[1]: 调度器在每次收到来自客户端的转发请求时,就向各个服务器发一个轮寻包,请求各服务器返回当前连接数目和使用带宽。待接收到服务器的答复包后,根据权重计算各个服务器的疲劳度。然后从中选择一个疲劳度最小的,将该服务器的 IP 映射给发出请求的客户端。下次又有新的转发请求时,重复上述步骤。

算法如下:

```
While(收到包)
{
Switch(包的命令字)
{
Case 新的连接请求:
For(集群中的服务器)
发出轮寻包;
Break;
Case 来自调度器的轮寻包:
返回所需的节点上面的连接数目和流量信息;
```

```
Break;
Case 服务器的返回信息包:
疲劳度 = m * 连接数目 + n * 使用带宽;
对疲劳度数组查找,得到最小疲劳度服务器的 IP
把所得 IP 返回给客户;
Break;
.....
}
```

对于每个分配到连接请求的服务器而言,在每次客户请求开始时候,把计数器的值加一,当客户退出服务时,计数器减一。上面的权重 m 和 n 可以根据服务器的配置和网络状况由管理员进行配置。如果服务器配置高档,同时可以完成多个连接请求,就可以将连接数目的权重设置的小一些。

4 结束语

文中讨论了开发纯软件视频会议系统中遇到的技术难题,并提出了使用动态反馈和静态随机权重算法的服务器负载均衡策略作为解决方案。实践也证明,该方案对于保证系统的稳定性、可扩展性,以及性能和价格比都是一个不错的选择。当然,方案中的动态反馈算法的不足也是很明显的。对于每一个客户的转发的请求都需要动态轮询服务器,这样对于 IP 的选择会造成一定的时延。一些弥补的方法就是分时间段轮询^[6],然后保存结果。这也是今后试验和研究工作中重点。

参考文献:

- [1] 曹宁. H.263 压缩协议在 H.323 会议系统中的嵌入[J]. 计算机工程, 2004, 30(14): 143-147.
- [2] 刘高峰. 负载均衡技术全攻略[EB/OL]. <http://www.yesky.com/20010626/187006.shtml>, 2001-06-26.
- [3] 吴璇. 负载均衡技术在防火墙系统中的应用[J]. 计算机应用, 2003, 12(23): 22-24.
- [4] 陈华平. 可扩展并行 Web 服务器集群的实现技术[J]. 计算机工程与科学, 2000, 22(3): 149-151.
- [5] 刘健. 基于动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机工程与科学, 2003, 25(5): 65-69.
- [6] 谭祖国. 基于 H.323 协议的实时多媒体网络系统中 QoS 的保证与实现[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(7): 77-81.

(上接第 112 页)

- [3] Kanade T. A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment[J]. IEEE Trans PAMI - 16, 1994(9): 920-932.
- [4] Wang Z F, Ohnishi N. Intensity based stereo vision: from 3-D to 2-D[J]. SPIE, 1994, 2354: 434-443.
- [5] Belhumeur P N, Murnford D. A bayesian treatment of the stereo correspondence problem using half-occlusion regions

[A]. IEEE Conf. on CVPR[C]. Champaign, IL, U. S. A: IEEE-CS Press, 1992. 506-512.

- [6] Intille S S, Bobick A F. Incorporating Intensity edges in the recovery of occlusion regions[R]. [s. l.]: M. I. T. Media Lab Perceptual Computing Group, 1994.
- [7] Geiger D, Ladendorf B, Yuille A. Occlusion and binocular stereo[J]. International Journal of Computer Vision, 1995 (14): 211-226.