

一种自适应的概率松弛影像匹配算法的研究

李宇光 王新华

(武汉测绘科技大学电子工程与精密机械学院, 武汉 430079)

摘要 通过计算双目影像特征点的上下视差及其它们的关系, 提出了一种对标准松弛算法的相容系数中的各参数的自适应算法。实验结果表明, 该算法与松弛法标准计算公式相比大大减少了迭代次数, 提高了影像匹配的计算速度。

关键词 影像匹配 松弛法 相容系数 视差

0 引言

在计算机视觉和摄影测量界, 立体视觉是获取物体三维信息的重要手段。而实现立体视觉的关键技术问题是如何快速、准确地实现影像匹配。这一方面的研究已有几十年的历史, 其间已涌现出许多影像匹配的理论 and 算法, 甚至商用软件系统^[1,2], 松弛算法就是具有代表性的一种。由于松弛匹配算法是通过计算不同特征间的匹配概率来估计匹配的可靠性, 其处理过程具有并行和迭代的特点, 因此它能较好地顾及整体匹配的最优性。松弛算法首先由 Rosenfeld^[3] 用于实现场景的协调标号问题。H. Jian^[4] 针对标准松弛匹配中的零匹配问题, 通过在目标集中增加零元素, 从而有效地解决了多对少的匹配问题。Levy^[5] 提出了一种改进的松弛算法, 它通过改造相容性系数和匹配概率尺度解决了松弛算法中的“多”匹配问题。

事实上, 松弛处理过程具有迭代处理的特点, 那么起始概率以及相容性系数中各参数的选择对于加速松弛处理过程是至关重要的。本文正是针对双目立体视觉中影像匹配的松弛算法, 提出了一种基于影像特征点间视差的自适应相容性系数的计算方法, 并介绍了加速匹配过程的措施。实验结果表明了

该算法的有效性。

1 概率松弛匹配

1.1 概率松弛匹配的基本思想

概率松弛法是利用一定的约束条件, 通过迭代缩减以消除解答的模糊性。在求解对应的过程中, 考虑用一致性条件来作松弛, 也就是一个具体记号的匹配, 应当与其邻域其它记号的匹配具有一致性。用概率估计来度量这种匹配, 利用一致性约束条件以松弛迭代的方式更新这些概率估计。故称为概率松弛算法。

概率松弛匹配处理包括 2 个步骤: 首先对可能的匹配建立一个节点网络, 给每个可能的匹配指定一个起始概率; 然后根据邻域匹配的一致性, 迭代更新这个起始概率。

1.2 概率松弛匹配数学模型的建立

设有一目标集 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, 现需把它分为 m 个类别, 类集为 $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ 。进一步假设目标分类是相互依存的, 即对于 $F_i \in T_j$ 和 $F_h \in T_k$ 可用一尺度 $C(i, j; h, k)$ 来衡量它们之间的相容性。负的 $C(i, j; h, k)$ 表示 $F_i \in T_j$ 和 $F_h \in T_k$ 不相容, 正的 $C(i,$

$j;h,k$ 表示它们相容,零值表示它们无关。 $C(i,j;h,k)$ 称为相容系数。 p_{ij}^0 表示 $F_i \in T_j (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$ 的初始概率,并满足 $0 \leq P_{ij}^0 \leq 1, \sum_{j=1}^m P_{ij}^0 = 1$ 。 P_{ij}^r 表示第 r 次迭代时修改后的概率。同样满足 $0 \leq p_{ij}^r \leq 1, \sum_{j=1}^m p_{ij}^r = 1$ 。

起始概率 p_{ij}^0 的确定依赖于问题的物理意义,在分类中一个最简单的确定方法是,对于目标 F_i ,认为它可能被分为成 m 类中的每一类的概率都相等,初始概率为等概率,即 $P_{ij}^0 = 1/m$ 。

设 G_i 表示目标 i 的一个邻域,标准的松弛算法公式如下:

$$q_{ij}^n = \sum_{h \in G_i} \sum_{k=1}^m C(i,j;h,k) p_{hk}^n$$

$$norm^n = \sum_{j=1}^m p_{ij}^n (1 + q_{ij}^n)$$

$$p_{ij}^{n+1} = p_{ij}^n (1 + q_{ij}^n) / norm^n$$

2 相容系数及其参数的确定

2.1 相容系数的确定

针对处理问题的不同,相容系数 $C(i,j;h,k)$ 的确定方法也各异。对于基于影像特征点的匹配问题,特征点的上下视差越小,匹配的概率越大。这就是我们确定相容系数 $C(i,j;h,k)$ 的基本依据。为此,在基于影像特征点匹配的松弛算法中相容系数可定义为

$$C(i,j;h,k) = \frac{1}{A+B|V_{ij}-V_{hk}|} \tag{2}$$

其中 i 的邻域为 h, j 的邻域为 k 。 V_{ij} 是把左影像中的 i 点和右影像中的 j 点作为一对同名点时的上下视差, A, B 为常数。

2.2 V_{ij} 的几何意义及计算公式

设物方有一 P 点,在左右 2 张像片上分别成像于点 $p_1, p_2, S_1 p_1, S_2 p_2$ 表示一对同名光线,它们与空间基线 $S_1 S_2$ 共面(图 1)。这个平面可以用三个矢量 R_1, R_2, B 的混合积表示为

$$B \cdot (R_1 \times R_2) = 0$$

改用坐标的形式表示时,即为一个三阶行列式等于零

$$Q_{12} = \begin{vmatrix} B_x & B_y & B_z \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = 0$$

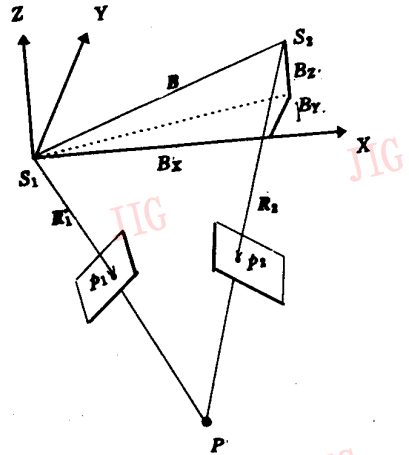


图 1

即在理想情况下,若点 $p_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 与点 $p_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 是一对同名点,则 $Q_{12} = 0$, 否则 $Q_{12} \neq 0$ 。由此我们可以写出 V_{ij} 的表达式:

$$V_{ij} = \frac{Q_{ij}}{X_i Z_j - X_j Z_i} = \frac{B_x Z_j - B_z X_j}{X_i Z_j - X_j Z_i} Y_i - \frac{B_x Z_i - B_z X_i}{X_i Z_j - X_j Z_i} Y_j - B_y$$

再令

$$\begin{cases} N = \frac{B_x Z_j - B_z X_j}{X_i Z_j - X_j Z_i} \\ N' = \frac{B_x Z_i - B_z X_i}{X_i Z_j - X_j Z_i} \end{cases}$$

N, N' 分别称为左、右像点的投影系数,则

$$V_{ij} = N Y_i - N' Y_j - B_y \tag{3}$$

V_{ij} 就是左、右像点 i, j 的上、下视差。

由于 $B_x, B_y, B_z, X_i, Y_i, Z_i, X_j, Y_j, Z_j$ 存在误差,即使 i, j 为一对同名点, V_{ij} 的值也不会为零。所以不能以 $V_{ij} = 0$ 来判断同名点,只能把所有的 V_{ij} 进行整体考虑来判断同名点。

2.3 系数 A, B 的取值

相容系数 $C(i,j;h,k)$ 是表示 $F_i \in T_j$ 和 $F_h \in T_k$ 之间的相容性。其取值范围在 -1 到 $+1$ 之间,且越接近 $+1$, 表示它们之间的相容性越好。 A, B 的取值就是要使 $C(i,j;h,k)$ 的计算结果在区间 $[-1, +1]$ 上,而且要使该算法收敛得越快越好。对于我们的问题就是要使上下视差越小的点其相容系数 $C(i,j;h,k)$ 越接近于 1 。

标准松弛算法相容系数中 A, B 的取值均为 1 ,

即

$$C(i, j; h, k) = \frac{1}{1 + |V_{ij} - V_{hk}|} \quad (4)$$

但若 $|V_{ij} - V_{hk}| \ll 1$ 时,由公式(4)可以看出,所有 $C(i, j; h, k)$ 的值均相差不大,对匹配概率的修正很小。这时算法的收敛极慢。

为了解决这一问题,需要找到一种能根据 $|V_{ij} - V_{hk}|$ 的大小自动调整公式(2)中 A, B 的值,使对于不同目标分类时的相容系数 $C(i, j; h, k)$ 有较大的变化,即 $|V_{ij} - V_{hk}|$ 越小, $C(i, j; h, k) \rightarrow 1$; 而 $|V_{ij} - V_{hk}|$ 越大时, $C(i, j; h, k) \rightarrow 0$ 。

由以上考虑,可取 $A \ll 1, B |V_{ij} - V_{hk}|_{\min} > 1$ 。对于影像匹配的问题取 $A = 0$

$$B = \frac{1}{|V_{ij} - V_{hk}|_{\min}}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m-1, j+1 \leq k \leq m \quad (5)$$

这时相应的相容系数计算公式为

$$C(i, j; h, k) = \frac{1}{B |V_{ij} - V_{hk}|} \quad (6)$$

这样既可以简化计算公式,保证 $|C(i, j; h, k)| \leq 1$,又对不同目标分类时的 $C(i, j; h, k)$ 值有明显不同。这样大大减少了算法的迭代次数。

3 实例与结论

在我们的实验中,设计了一个双目立体视觉系统,摄像机采用敏通公司生产的 1881EX CCD 摄像机,大恒公司的 VP32 图像卡,其分辨率为 512×512 像素。摄影基线约为 240mm,成像系统镜头的焦距为 16mm。测量前,对该双目立体视觉系统进行了标定,其结果见表 1。

表 1 双目立体视觉系统摄像机标定结果

	主点 (像素)		焦距 (mm)	位置 (m)			姿态 (弧度)		
左 相机	X_{cL}	Y_{cL}	f_L	X_{sL}	Y_{sL}	Z_{sL}	φ_L	ω_L	K_L
	222.2	212.8	16.41	-0.028 3	0.135 7	1.424 7	0.087 900	-0.007 533	0.024 644
右 相机	X_{cR}	Y_{cR}	f_R	X_{sR}	Y_{sR}	Z_{sR}	φ_R	ω_R	K_R
	202.1	218.2	16.34	0.213 6	0.139 1	1.426 0	-0.071 928	-0.001 242 6	0.013 300

图 2 是用该系统获取的一工业零件的左、右影像。



左影像 右影像

图 2 工业零件左、右影像

匹配前,我们用 L_y 算子找特征点,用直线拟合求交点法进行特征点定位。在左、右影像上分别得

表 2 左、右影像特征点坐标(象素)

左影像特征点坐标		右影像特征点坐标			
序号	X_L	Y_L	序号	X_R	Y_R
1	207.8	126.1	a	171.4	137.0
2	212.3	126.2	b	166.8	136.9
3	207.2	140.9	c	170.4	158.4
4	211.4	147.6	d	166.5	151.4
5	144.9	136.4	e	105.5	146.8
6	144.5	142.9	f	105.4	153.5

到六个特征点,其坐标见表 2。

在匹配前,两幅影像中各特征点的匹配概率认为为是等概率,即 $p_{ij} \approx 0.17$ 。

表 3 是用标准松弛算法进行迭代计算的结果,其中取 $A=1, B=1$ 。

表 4 是采用改进的松弛算法进行迭代计算的结果。这里首先用式(5)计算出 $B=12\ 820$,再用式(6)计算相容系数 $C(i, j; h, k)$ 。

由上述实验结果不难看出,我们的算法与标准的松弛算法相比收敛速度大大地提高,而且匹配的可靠性也得到了保证。分析其原因在于松弛处理中的相容性系数的确定对调整匹配的概率至关重要,不同的匹配对象和目标集,其相容性系数的值可能并不相同。在本文的处理方法中,相容性系数中参数的确定由原始观测值自动调整,因此其处理具有自适应的特点。这一点已经在我们的实验中得到了验证。

表3 各次迭代的匹配概率(注:表中概率已扩大100倍)

起始概率							第一百次迭代						
	a	b	c	d	e	f		a	b	c	d	e	f
1	17	17	17	17	17	17	1	22	22	9	13	19	15
2	17	17	17	17	17	17	2	22	22	9	14	18	15
3	17	17	17	17	17	17	3	12	12	18	20	18	20
4	17	17	17	17	17	17	4	10	10	23	19	17	21
5	17	17	17	17	17	17	5	14	15	12	19	21	19
6	17	17	17	17	17	17	6	9	9	20	21	19	22

第一千次迭代

第一万次迭代

第一千次迭代							第一万次迭代						
	a	b	c	d	e	f		a	b	c	d	e	f
1	48	49	0	0	3	0	1	41	59	0	0	0	0
2	49	48	0	0	3	0	2	54	46	0	0	0	0
3	0	0	4	49	11	36	3	0	0	0	99	0	1
4	0	0	82	3	1	14	4	0	0	100	0	0	0
5	0	0	0	6	88	6	5	0	0	0	0	100	0
6	0	0	3	30	4	63	6	0	0	0	0	0	100

表4 各次迭代的匹配概率(注:表中概率已扩大100倍)

第六次迭代							第十三次迭代						
	a	b	c	d	e	f		a	b	c	d	e	f
1	8	92	0	0	0	0	1	0	100	0	0	0	0
2	99	1	0	0	0	0	2	100	0	0	0	0	0
3	0	1	0	92	4	3	3	0	0	0	100	0	0
4	0	0	100	0	0	0	4	0	0	100	0	0	0
5	0	0	0	0	100	0	5	0	0	0	0	100	0
6	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	0	0	100

事实上,在松弛处理的过程中,特征点间的横向视差不仅能帮助我们加快匹配的速度,同时作为一种约束条件可以提高匹配的可靠性,这是因为横向视差决定了场景的大小,有关这方面的研究正在进行中。

参考文献

- 1 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.
- 2 Dhond U R, et al. Structure from Stereo-A Review. IEEE Trans. SMC, 1989,19(6):1489~1509.
- 3 Rosefeld, et al. Scene Labeling by Relaxation operation. IEEE Trans. SMC, 1996,6: 420~423.
- 4 Jian H, et al. Region Matching and Depth finding for 3D objects in stereo Aerial Photographs. Pattern Recognition, 1990,23(1):81~94.
- 5 Levy M A new Theoretical Approach to Relaxation Application to Edge Detection. IEEE Proc. of the 9th. Int. Conf. on Pattern Recognition, 1988,208~212.



李宇光 1988年毕业于武汉测绘科技大学,1996年获得硕士学位。现从事图像处理和摄影测量的研究。



王新华 1983年毕业于武汉测绘科技大学,1988年、1997年分别获得硕士、博士学位,教授。现从事计算机视觉的研究。

Image Matching by Adaptive Probability Relaxation Operation

Li Yuguang, Wang Xinhua

(School of Electronic Engineering and Precise Mechanics, Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Wuhan 430079)

Abstract Image matching is the key step of realizing the stereo vision, and the relaxation operating is a powerful way. In some situation, the traditional relaxation operating converges slowly because the process is an iterative procedure. In this paper, authors present an adaptive approach toward relaxation operating and give out the method of determining the correlative coefficient. Finally, the efficiency of algorithm is examined through a practical experiment.

Keywords Images match, Relaxation, Correlative coefficient, Parallax