

# 一种区域弦分布形状描述子及其在形状特征识别中的应用

梁光明 孙即祥 唐玉鹏 李仲陶

(国防科技大学电子科学与工程学院 410073)

**摘要** 为了通过目标区域内弦的分布稳定地描述目标的形状特征,首先定义了区域主弦和基于主弦的垂直扫描弦。并由区域主弦和垂直扫描弦的长度、位置分布组成了目标区域弦分布;然后根据区域弦分布,定义了区域弦面积、弦平行度、边界点对称率、主弦长度、弦方框率等描述目标区域形状的有效特征;最后利用区域弦分布形状描述特征对一些简单形状和显微镜细胞图像进行了实验。实验结果表明,区域弦分布形状特征不仅可以有效区分圆、椭圆、矩形、平行四边形和不规则多边形等简单形状,而且在显微镜细胞自动分类与识别系统中增加细胞区域弦分布特征后,目标识别率明显提高,误判率明显降低。另外,通过弦分布形状特征,系统还可以有效区分长条管形细胞、方形结晶细胞、圆形细胞和不规整细胞的形状。

**关键词** 区域主弦 垂直扫描弦 弦分布 边界点对称率 区域弦平行度

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)08-1470-06

## A Kind of Shape Description Based on Region Chordal Distribution and It's Application in Shape Recognition

LIANG Guang-ming, SUN Ji-xiang, TANG Yu-peng, LI Zhong-tao

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract** In order to describe the object's shapes steadily by chordal distribution in object's region, region main chord and its perpendicular scanning chords were defined firstly in the paper and their computation method was put forward. Object region chordal distribution is composed of main chord and perpendicular scanning chords. According to main chord and perpendicular scanning chords length and position, the paper defined such effective shape features as chordal area, parallelism degree, edge points symmetry proportion, main chord length and chordal square rate. Finally, the paper used these region chordal features dealing with some simple shapes and cell images. The result showed that these features can distinguish round, ellipse, rectangle, parallelogram and anomalous polygon. At the same time the cell identifying ratio was improved and misjudgment ratio depressed obviously after the cell region's chordal features were used in microscopical cell image classifying and recognition system. The system distinguished the shapes among strip tube cell and quadrature rime and round cell and anomalous epithelia effectively.

**Keywords** region main chord, perpendicular scanning chord, chordal distribution, edge points symmetry proportion, region chord parallelism degree

## 1 引言

众所周知,如今目标的形状特征已广泛应用

于目标识别、检索系统中,而且描述目标区域形状的方法有很多种,如基于区域边界的 Fourier 变换、链码、曲率、曲面拟合,基于目标区域内部的中轴变化、矩特征、区域拓扑、区域分解等<sup>[1-4]</sup>。目标

收稿日期:2006-11-08;改回日期:2007-03-14

第一作者简介:梁光明(1970~),男。副教授。现为国防科技大学电子科学与工程学院博士生。主要研究方向为多媒体通信、机器视觉、图像编码等,曾获部级科技进步一等奖1项,二等奖2项,三等奖1项,发表多篇学术论文。E-mail:lgm7056@yahoo.com.cn

的形状特征描述主要从以下 3 个方面考虑:(1)鲁棒性 对图像的噪声反应不灵敏,且形状特征随图像平移、图像缩放、图像旋转不发生改变或只发生小的改变;(2)可分性 所设计形状特征能够区分目标形状,并具有可比性;(3)实现复杂度 由于有的形状特征计算复杂,实现时间长,无法应用于实践,因此要寻找快速高效的形状描述特征。Cannon 等人提出了一种基于扫描线的形状描述方法<sup>[5]</sup>,即通过计算大量扫描线穿过区域边界形成的区域内弦的位置、长度分布来描述形状的方法。Huang 等人提出了一种基于基本弦的点密度图像描述目标形状<sup>[6]</sup>的方法,并提出通过寻找区域基本弦及基于基本弦的点密度图来进行形状匹配。本文在研究上述文献方法的基础上,提出了一种基于区域弦分布的形状描述新方法,该方法是根据主弦、主弦的垂直扫描弦的分布来提取弦平行度、弦对称度、弦方框率、弦面积、弦圆率等形状统计特征,并将这些特征应用于简单图形的形状识别与显微镜细胞图像的识别。应用结果表明,区域弦分布不仅可以描述目标区域形状,而且基于弦分布的形状特征可以有效区分圆、椭圆、矩形、不规则多边形,若将其应用于细胞识别,则可提高系统的目标识别率和降低目标的误判率。

## 2 区域弦分布形状特征

### 2.1 定义

目标区域的形状可以通过目标边界的一些特征点的分布来描述<sup>[6,7]</sup>,同样也可以通过贯穿区域边界的特征弦的分布来描述<sup>[2,5,6]</sup>,如主轴、中轴等都可以描述一定的形状信息。本文结合特征弦与扫描线方法定义了一种目标区域主弦和基于主弦的垂直扫描弦,并提出了通过这两种弦的分布来描述目标形状的方法。

**弦** 目标区域边界上任意两点的连线称为弦(chord)。若连线上所有点都在目标区域范围内,则称为区域内弦。

**区域主弦** 具有如下特点的弦称为目标的区域主弦(main chord, MC):

- (1)穿过目标区域质心;
- (2)区域边界上所有点在弦上的投影距离变化最小(投影距离指目标边界上的点到弦所代表的直

线的距离)。

包含主弦的直线称为主弦直线。从定义可以看出,平行四边形的区域主弦为穿过中心与长边平行的一条直线。

**主弦长度** 目标区域边界在主弦直线上的投影为主弦直线上的一条线段,这条线段的长度称为主弦长度(length of main chord, LMC),这条线段的两个端点称为目标区域在主弦直线上的投影端点。

**垂直扫描弦** 沿着主弦直线方向,在投影端点之间按照一定间隔作垂直于主弦直线的扫描线,由扫描线与区域边界相交的点所构成的区域内弦称为垂直扫描弦(perpendicular scanning chord, PSC)。

**区域弦分布** 指区域主弦和垂直扫描弦的长度、方向和位置的分布。

如图 1 所示, $\overrightarrow{p_1 p_2}$ 所代表的直线为主弦直线,与主弦垂直的平行线称为垂直扫描弦。主弦长度指点  $p_1$ 、 $p_2$  之间的直线距离。从图中可以看出,如果目标区域边界不为凸包,则垂直扫描弦与区域边界可能存在数目较多的交点,从而构成多条区域内弦,从图中同时也可以看出,通过垂直扫描弦与区域主弦的分布可以描述和重建目标边界形状。

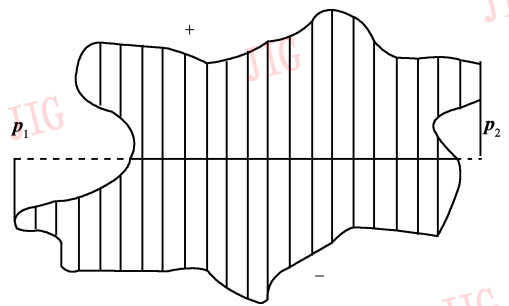


图 1 区域弦分布示意图

Fig. 1 Region chordal distribution sketch map

### 2.2 区域主弦计算

设区域边界点集合为  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$ ,  $l$  为边界周长,即边界点总数, $p_i$  为区域边界点在图像中的坐标位置, $p_i = (x_{p_i}, y_{p_i})$ ,  $x_{p_i}$ 、 $y_{p_i}$  分别表示点  $p_i$  在图像坐标中水平方向与垂直方向坐标。假设质心位置为  $(a, b)$ ,则过点  $p_i$  与质心的直线方程为

$$\begin{cases} Ax + By + C = 0 \\ A = b - y_{p_i} \\ B = x_{p_i} - a \\ C = ay_{p_i} - bx_{p_i} \end{cases} \quad (1)$$

直线上任意一点  $p_i$  到直线的距离为

$$d(p_i) = \frac{|Ax_{p_i} + By_{p_i} + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (2)$$

边界上所有的点到弦上的距离的变化可以通过所有边界点到该弦的距离的协方差  $\sigma$  来表示,即

$$\begin{cases} \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l d(p_i)^2 - l \cdot \bar{d}^2}{l-1}} \\ \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^l d(p_i)}{l} \end{cases} \quad (3)$$

遍历目标区域所有内弦,  $\sigma$  值最小时的弦即为区域主弦。

### 2.3 主弦垂直扫描弦计算

主弦垂直扫描弦的计算步骤如下:

(1) 计算区域在主弦上的投影端点;

(2) 先沿着主弦直线方向,采用中点法建立以投影端点为头尾的垂足链表,然后计算垂足链表中相邻端点的距离。如果距离大于一定阈值,则计算两个端点的中点,并将中点作为垂足插入垂足链表;如果距离小于阈值,则判断下一个相邻端点,直至所有的相邻端点距离都小于阈值为止。通过调节阈值就可以减少垂直扫描弦数,以加快运行速度;

(3) 遍历链表中所有垂足点,先通过垂足作垂直于主弦直线的直线,然后求直线与边界的交点,最后根据交点位置,建立垂直扫描弦的端点链表。一些简单图形和各类细胞图像及其主弦和垂直扫描弦分布如图 2、图 3 所示。

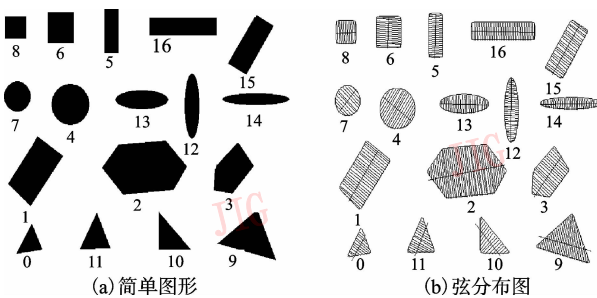


图 2 简单图形及其弦分布图

Fig. 2 Simple figure and chordal distribution

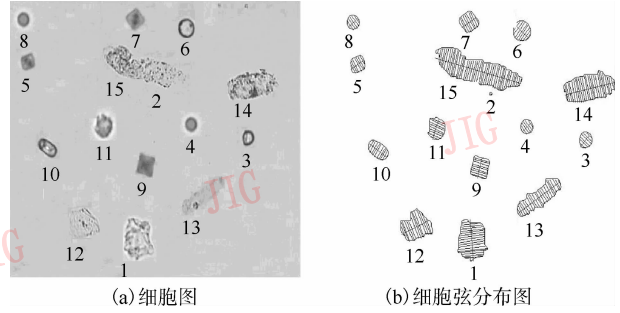


图 3 细胞图及其弦分布图

Fig. 3 Cell figure and cell chordal distribution

### 2.4 弦分布形状统计特征

根据图像的主弦及垂直扫描弦长度分布,本文定义了边界点对称率 (edge point symmetry ratio, EPSR)  $r_{EPS}$ 、区域弦平行度 (region chord parallelism degree, RCPD)  $D_{EPS}$ 、区域弦面积 (area of region chord, ARC)  $A_{RC}$ 、主弦长度  $l_{MC}$  和区域弦方框率 (region chord square ratio, RCSR)  $r_{RCS}$  等统计特征。

(1) 边界点对称率

从图 1 可以看出,区域被主弦分成两个部分,本文定义主弦上边或右边的点到主弦的距离为正,反之为负,沿着主弦方向分别计算垂足链表中与每个垂足点对应的垂直扫描弦的端点到区域主弦的正负距离和,然后即可通过距离和的绝对值来判断垂直扫描弦端点 (边界点) 是否基于主弦对称,如果对称,则对称点数就增加 1。所有对称点数与垂足链表中垂足数的比例称为边界点对称率。以主弦直线上的第  $i$  个点  $p_i$  为垂足的各条垂直扫描弦端点到主弦的相应距离和可以表示为

$$\begin{cases} sum_{dis}(p_i) = \sum_k \text{sgn}(k)l(k) \\ \text{sgn}(k) = \begin{cases} 1 & \text{交点在主弦的上边或右边} \\ -1 & \text{交点在主弦的下边或左边} \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $k$  表示与第  $i$  个垂足点  $p_i$  对应的垂直扫描弦与边界点的交点数,当区域边界为凸起形状时,  $k$  为 2,当区域为非凸边界时,  $k$  可能大于 2,  $l(k)$  是第  $i$  条垂直扫描线与边界的第  $k$  个交点到主弦的绝对距离,可根据式 (2) 计算,则区域边界点对称率可以通过式 (5) 计算。式中  $T$  为阈值,经常取为 3。

$$\begin{cases} r_{\text{EPS}} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{\text{sym}}(\mathbf{p}_i)}{N} & N \text{ 为主弦方向所取垂足数} \\ D_{\text{sym}}(\mathbf{p}_i) = \begin{cases} 1 & |sum_{\text{dis}}(\mathbf{p}_i)| \leq T \\ 0 & |sum_{\text{dis}}(\mathbf{p}_i)| > T \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $D_{\text{sym}}(\mathbf{p}_i)$  表示过垂足点  $\mathbf{p}_i$  的垂直扫描弦的对称度,其值取 1 或 0。对于主弦对称区域,其形状边界点对称率取值接近 1。

### (2) 区域弦平行度

计算主弦时得到的投影距离的协方差为  $\sigma_c$  (见式(3)的最小  $\sigma$  取值)。该值越小,表示垂直扫描弦的长度近似相等;该值越大,表示垂直扫描弦的长度变化剧烈。

### (3) 区域弦面积

计算得到的垂直扫描弦端点链表中与所有内弦相对应的两个端点的距离和可以近似表示区域的面积(ARC)。设链表中的端点数为  $m$ ,则弦数为  $m/2$ ,如果区域边界为外凸形状时,则  $m/2 = N$ ,即弦数等于垂足数。 $\mathbf{p}_i$  表示链表中第  $i$  个点的坐标,则区域弦面积可以表示为

$$\begin{cases} A_{\text{RC}} = \sum_{i=1}^{m/2} d(\mathbf{p}_{2i}, \mathbf{p}_{2i+1}) \\ d(\mathbf{p}_{2i}, \mathbf{p}_{2i+1}) = \sqrt{(x_{\mathbf{p}_{2i}} - x_{\mathbf{p}_{2i+1}})^2 + (y_{\mathbf{p}_{2i}} - y_{\mathbf{p}_{2i+1}})^2} \end{cases} \quad (6)$$

### (4) 主弦长度

得到区域在主弦上的投影端点后,再将得到的端点间的欧氏距离作为主弦长度  $l_{\text{MC}}$ 。

### (5) 区域弦方框率为

$$r_{\text{RCS}} = \frac{l_{\text{MC}}}{\bar{d}} \quad (7)$$

可用区域弦方框率(RCSR)来表示区域的宽扁程度,平均距离  $\bar{d}$  见式(3)。

## 2.5 弦分布特征性能分析

从主弦原理可以看出,由于主弦(main chord, MC)在边缘上的相对位置具有平移不变、旋转不变性,垂弦也具有同样性质,因此基于主弦的形状特征  $r_{\text{EPS}}$ 、 $A_{\text{RC}}$ 、弦方差  $\sigma_{\text{chord}}$ 、 $l_{\text{MC}}$ 、 $r_{\text{RCS}}$  都具有平移不变、旋转不变性,其中  $r_{\text{EPS}}$ 、 $\sigma_{\text{chord}}$ 、 $r_{\text{RCS}}$  还具有一定的尺寸不变性。由于图像受噪声影响,致使实际得到的图像往往不光滑,具有突起现象,为了减少噪声的影响,可对垂直扫描弦沿着主弦方向进行一定窗口范

围的中值平滑,以去掉突变弦。

## 3 算法实现

### 3.1 算法实现

区域弦特征提取算法步骤如下:

- (1) 通过图像分割来得到图像中目标区域边界点;
- (2) 据边界点的计算结果,按照式(3)计算区域主弦和主弦长度;
- (3) 按照 2.3 节的方法,即可通过计算主弦的垂直扫描弦来得到垂直扫描弦端点链表。实验中垂足点之间的最小距离设为 5;
- (4) 通过平滑垂直扫描弦来克服突变弦带来的影响;
- (5) 根据端点链表,按照式(3)~式(7)通过计算区域弦的形状特征来建立区域弦的分布形状描述特征矢量。

### 3.2 弦特征算法计算复杂度

据分析,主弦的计算复杂度为  $O(l^2)/2$ ,垂直扫描弦的计算复杂度跟主弦长度与边界点数有关,假设主弦长度最长为  $l/2$ ,则计算量为  $O(l^2)/2$ ,而整个算法的复杂度为  $O(l^2)$ 。为了简化计算,可以减少垂直弦的数量和加强主弦约束条件。

## 4 实验与结果

为验证本文提出的形状特征的识别效果,笔者利用本文算法分别对如图 2(a)所示的一些简单标准形状目标的弦分布形状特征进行了计算,计算结果见表 1,然后将算法应用于显微镜细胞自动分类识别系统中,实验结果见表 2。

**实验 1** 本文设计了如图 2(a)所示的一些简单标准形状图,图中有正方形、长方形、多边形、平行四边形、圆形、椭圆形目标,经过图像分割后可得到如图 2(b)所示的目标边缘分割结果及目标弦分布图。图 2(b)中贯穿目标区域与平行扫描线垂直的弦为区域主弦,平行扫描线为垂直扫描弦。

图 2 中从下到上,从左到右的目标序号分别为 0, 11, 10, 9, 1, 2, 3, 7, 4, 12, 13, 14, 8, 6, 5, 16, 15。利用本文算法对弦分布形状特征进行了计算,计算结果如表 1 所示:

表 1 简单标准形状的弦分布特征

Fig. 1 Chordal distribution feature of simple standard shapes

形状类型	目标序号	类型	弦面积	主弦长度	平行度	方框度	点对称率(%)
矩形	8	正方形	2 078	47.04	3.376	0.920	97.9
	6	正方形	3 508	60.03	1.794	0.958	100.0
	5	长方形	2 719	85.02	0.678	0.371	100.0
	16	长方形	5 040	148.01	0.446	0.228	100.0
	15	斜长方形	4 247	113.9	22.90	0.338	95.8
圆形	7	圆形	2 026	58.01	140.9	0.793	100.0
	4	圆形	4 237	80.44	275.5	0.786	91.0
	12	椭圆形	3 190	123.1	46.40	0.209	100.0
	13	椭圆形	3 301	113.0	55.45	0.256	100.0
其他简单形状	14	椭圆形	2 535	137.0	38.88	0.134	100.0
	0	三角形	1 301	59.90	142.2	0.425	21.5
	11	三角形	2 168	72.91	253.6	0.444	16.4
	10	三角形	1 898	93.38	182.1	0.294	15.9
	9	三角形	5 524	124.1	526.9	0.364	10.6
	1	平行四边形	6 346	118.5	46.57	0.546	94.8
	2	六边形	13 900	188.1	370.4	0.431	27.4
	3	四边形	4007	101.6	155.7	0.492	66.2

从表 1 数据可以看出,长方形目标的平行度较小、点对称率较大,正方形的方框率比长方形的方框率大;圆形目标的点对称率大、平行度大、方框率大;椭圆目标的对称率大、平行度较小;三角形等不规则目标的对称率都较小,平行度都比较大,从四边形数据还可以看出,平行四边形的平行度比圆形的平行度要小,但点对称率大。从表 1 数据可以看出,所求弦特征能够一定程度地区分圆、椭圆、长方形、正方形、平行四边形、对称多边形和不规则图形的形状和大小。

**实验 2** 如图 3(a) 所示,在显微镜细胞图像中,红白细胞呈圆形、结晶呈方形、管形呈长条形、上皮细胞大都边缘不规整,因此可以将弦分布形状特征应用上述细胞的形状区别。图 3(b) 为细胞分割及弦分布图。分割图中目标的下方数字为跟踪到的目标序号,从下到上,从左到右依次为 12,1,13,10,11,9,4,3,5,15,2,14,8,7,0,6。其中 15 号目标为最长目标,2 号、0 号为小目标,最大方形结晶为 9 号目标,9 号结晶右下为 13 号管形细胞,右上角为 6 号圆形红细胞。本文摘录了 6 号圆形红细胞、9 号结晶、13 号管形、15 号管形及 12 号上皮细胞的弦特

征(见表 2):

表 2 细胞弦分布形状特征

Fig. 2 Chordal distribution feature of cell

细胞序号	弦面积	主弦长度	平行度	方框率(%)	点对称率(%)
6 圆红	965.6	39.05	66.99	74.9	100.0
9 结晶	1 333	38.07	26.59	92.1	97.3
13 管形	2 546	107.9	24.17	25.6	71.7
15 管形	7 189	192.8	29.82	19.8	71.7
12 上皮	2 398	62.24	94.41	66.4	29.3

从表 2 数据可以看出,通过弦特征可以有效区分圆细胞、长管形、方形结晶与其他形状不规整细胞的形状。论文将所求弦特征结合其他纹理、颜色特征共 34 维特征,送入基于 BP 网络的细胞自动分类平台进行学习训练识别。训练时,首先采集各类细胞 500 个作为样本库进行训练,收敛后即得到 BP 网络识别模型;接着取了 500 个标本送入平台进行识别,分别对细胞的识别率(识别正确个数/该类细胞实际总数)、误判率(其他类的细胞判成该类细胞的个数/该类细胞的识别总数)进行了统计。弦特

征使用前后的识别结果见表 3,从表中可以看出,弦特征使用后的识别效果得到较大改善,各类细胞的识别率均得到提高,尤其方形结晶与长形管形的识别效果得到非常大的改进。

表 3 细胞识别效果

Fig. 3 Cell recognition effect

细胞种类	弦特征未使用		弦特征使用	
	识别率(%)	误判率(%)	识别率(%)	误判率(%)
红细胞	88.12	6.12	94.87	3.23
白细胞	81.34	15.32	91.54	7.14
上皮细胞	78.55	17.67	82.72	11.59
结晶细胞	65.43	3.81	93.45	1.05
管形细胞	45.39	32.26	86.12	4.06

## 5 结 论

综上所述,区域弦分布不仅可以有效描述目标边界形状,而且根据区域主弦及垂直扫描弦的位置、长度抽取的弦面积、主弦长度可以描述目标大小;平行度可以区分圆、椭圆、矩形;对称率可以有效区分非主弦对称目标与主弦轴对称目标;方框率可以区分主弦方向的宽扁程度。将弦分布形状特征送入神经网络细胞分类器进行分类的结果说明,本文方法可提高细胞识别率和降低误判率。基于区域弦分布所求的形状特征不仅具有平移、旋转不变性,同时通

过对特征归一化,还可以一定程度克服噪声影响与尺寸变化带来的影响。

## 参考文献 (References)

- 1 Snyder Wesley E, Qi Hai-rong. Machine Vision[M]. Lin Xue-xin, Cui Jin-shi, Zhao Qing-jie, et al. Translate. Beijing: China Machine Press, 2005:326 ~ 354. [Snyder Wesley E, Qi Hai-rong 著. 机器视觉教程[M]. 林学阁, 崔锦实, 赵清杰等译. 北京:机械工业出版社, 2005:326 ~ 354.]
- 2 Sonka Milan, Halavac Vaclav. Image Processing Analysis, and Machine Vision[M]. Ai Hai-zhou, Wu Bo Translate. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003:156 ~ 187. [Sonka Milan, Halavac Vaclav 著. 图像处理分析与机器视觉(第二版)[M]. 艾海舟, 武勃译. 北京:人民邮电出版社, 2003:156 ~ 187.]
- 3 Osada R. Shape distributions[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(4): 807 ~ 832.
- 4 Belongie S, Malik J, Puzicha J. Matching shapes [A]. In: Proceedings of 8th IEEE International Conference on Computer Vision [C], Vancouver, Canada, 2001, 1: 454 ~ 461.
- 5 Cannon Michael, Warnock Ony. A Shape Descriptor Based on the Line Scan Transform [R]. Technical Report LA-UR-04-5865, Los Alamos, CA, America; Los Alamos National Laboratory, 2004.
- 6 Huang Xiao-lei, Metaxas Dimitris. Matching and Recognition of Shapes Using Chord-based Point Density Graphs [R]. Technical Report DCS-TR-566, New Brunswick, Canada; Division of Computer and Information Sciences, Rutgers University, 2002.
- 7 Zhang Z. Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces [J]. International Journal Computer Vision, 1994, 13(2): 119 ~ 152.