

文章编号: 1003-501X (2004) 09-0001-06

多源图像配准技术分析与展望

倪国强, 刘琼

(北京理工大学信息科学技术学院, 北京 100081)

摘要: 在给出多源图像配准的定义后, 将常见的图像配准方法分为基于图像灰度的方法和基于图像特征的方法两大类。以此为分类基础, 对国内外现有的图像配准技术和方法进行了分析和评述, 并重点介绍了基于图像特征的配准方法。随后对图像配准技术所面临的主要难题作了分析。最后介绍了图像配准在军事、遥感、医学等领域的应用, 并展望了其未来的发展。

关键词: 图像配准; 图像融合; 特征提取

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Analysis and prospect of multi-source image registration techniques

NI Guo-qiang, LIU Qiong

(School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: After giving the definition of multi-source image registration, the common image registration methods are divided into two types: intensity-based methods and feature-based methods. The analysis and evaluation for various techniques and methods of image registration at home and abroad are carried out on the basis of this two sorts, while the feature-based methods are emphasized. Then the difficulties of image registration technique are summarized and evaluated. Applications of image registration such as military, remote sensing and medicine are also introduced. At last, prospects of image registration are made.

Key words: Image registration; Image fusion; Feature extraction

引言^[1-2]

随着科学技术的发展, 单一传感器图像提供的信息逐渐不能满足应用的需求。如在战场环境中, 通常采用多种成像传感器, 如红外夜视仪、成像雷达、超光谱成像系统等进行战场感知, 应用多种传感器的互补特征综合提取有用信息, 对指挥员和作战系统的战场决策提供有力帮助; 医学领域中, 需融合 CT、PET、MRI 等多种模态的图像以帮助诊断; 遥感观测中, 多光谱图像融合可以得到更清晰的地物信息图像。

由于不同传感器的成像机理不同, 获取图像的时间、角度、环境也不同, 使得待融合的图像需先进行图像配准。除了在多传感器图像融合领域中的应用, 图像配准在遥感图像镶嵌、医学图像分析、目标变化检测、目标识别等应用中也是必不可少的步骤。图像配准是上述各类问题中提高精度和有效性的瓶颈, 是必需的前期工作。如对于目标变化检测, 如不进行较高精度的配准, 则在整个场景中由于多传感器、多时相图像之间的位置交错使图像发生变化, 而不是目标本身发生了相对于背景的变化, 这就将导致错误的目标变化检测, 因此必须在变化检测前对图像作高精度的配准。因此图像配准在众多场合下不可或缺的作用使得它在遥感、军事、医学、计算机视觉等领域得到了广泛的发展和应用。

收稿日期: 2004-05-08; 收到修改稿日期: 2004-06-09

基金项目: 国家 863 计划项目(2002AA783050)和国防重点预研项目(40405050401)

作者简介: 倪国强(1946-), 男(汉族), 江苏无锡人, 教授, 博士, 主要从事实时图像处理及融合、图像配准、紫外通信、光电成像等的研究。

E-mail: nigq@bita.org.cn

1 多源图像配准定义

多源图像配准是指依据一些相似性度量决定图像间的变换参数,使从不同传感器、不同视角、不同时间获取的同一场景的两幅或多幅图像,变换到同一坐标系下,在像素层上得到最佳匹配的过程^[3]。待配准图像相对于参考图像的配准可定义为两幅图像在空间和亮度上的映射。两幅图像可定义为两个二维数组,分别用 $I_1(x,y)$ 和 $I_2(x,y)$ 表示,它们分别是两幅图像的亮度值(或其他度量值),则两幅图像间的映射可表示为

$$I_2(x, y) = g(I_1(f(x, y))) \quad (1)$$

其中 f 为二维空间坐标变换,如仿射变换, g 为一维亮度(或其他度量值)变换^[4]。但在实际应用中,亮度的变化常常可以通过传感器参数信息校正,因此找到最佳空间变换是图像配准问题的关键。当需配准多幅图像时,选取其中某一幅图像作为参考图像,其余图像分别相对参考图像进行配准。

2 常用的图像配准方法

目前对于不同类型的图像和数据存在很多种图像配准的方法,也相应地形成了很多种对方法进行分类的准则。常见的分类准则将图像配准方法分为两类:基于图像灰度的方法和基于图像特征的方法。

2.1 基于图像灰度的配准方法

基于图像灰度的配准方法,通常直接利用整幅图像的灰度信息,建立两幅图像之间的相似性度量,然后采用某种搜索方法,寻找使相似性度量值最大或最小的变换模型的参数值^[5]。常用的相似性度量有:

- (1) 两幅图像灰度的平方差之和;
- (2) 序贯相似度检测(SSDA)^[6];
- (3) 互相关;
- (4) 位相相关^[7]。

王小睿^[8]等分别利用序贯相似度检测(SSDA)和归一化积相关两种相似性度量方法,建立模板图像和输入图像之间的相似性度量值,再利用模拟退火算法随机寻优,快速准确地找到最佳匹配点。

A. Averbuch^[9]利用快速傅里叶变换得到两幅图像之间的归一化位相相关函数,并利用傅里叶系数计算移相函数,最后利用最小平方估计算法迭代计算得出具有亚像素级精度的两幅图像之间的平移量。

基于图像灰度的配准方法不需要对图像做特征提取,而是直接利用全部可用的图像灰度信息,因此能提高估计的精度和鲁棒性^[10]。但由于在基于图像灰度的算法(如互相关算法)中,把匹配点周围区域的点的灰度都考虑进来进行计算,因此其计算量很大,速度较慢。

2.2 基于图像特征的配准方法

基于图像特征的配准方法是目前采用最多的。多源图像融合和遥感技术的进步促进了其发展。在多源图像融合中,由于多传感器获取各类图像灰度特征往往不一致,因此很难运用基于图像灰度的方法。基于图像特征方法提取各类图像中保持不变特征,如边缘点、闭区域的中心等,作为两幅图像配准的参考信息。

这类方法的主要优点是它提取了图像的显著特征,大大压缩了图像的信息量,使得计算量小,速度较快,而且它对图像灰度的变化具有鲁棒性。但另一方面,正是由于只有一小部分的图像灰度信息被使用了,所以这种方法对特征提取和特征匹配的误差更敏感,需要可靠的特征提取和鲁棒的特征一致性。

基于图像特征的配准方法包括特征提取、特征匹配、选取变换模型及求取参数、坐标变换与插值四个主要组成部分。

2.2.1 特征提取

特征提取是指分别提取两幅图像中共有的图像特征。这种特征是出现在两幅图像中对比例、旋转、平移等变换保持一致性的特征,如线交叉点、物体边缘、角点、虚圆、闭区域的中心等。可提取的特征包括点、线和面三类。

点特征是最常采用的一种图像特征,包括物体边缘点、角点、线交叉点等。常用的点特征提取方法有

如下几种:

(1) 基于小波变换的边缘点提取法

Leila M. G. Fonseca^[11]、Jun-wei Hsieh^[12]、钮永胜^[13]等人都是采用基于小波变换的多尺度分析理论, 先对图像作小波变换, 计算小波变换的模值, 模的局部极大值点即对应图像中的边缘点。

(2) 角点检测法

角点也是一种常用的图像特征点。基于灰度的角点检测方法考虑像素点邻域的灰度变化, 通过计算点的曲率及梯度检测角点。文献[14]利用最小同值吸收核算法(Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus, 即 SUSAN 算法)提取角点。文献[15]在 SUSAN 算法的基础上提出一种沿圆弧曲线扫描的方法提取角点。

(3) 兴趣算子法

兴趣点, 是指相对于其邻域表现出某种奇异性的像素点, 它们容易提取, 对信号噪声、数据获取时的参数变化和图像变换等具有较好的鲁棒性^[16]。最有名的兴趣点提取法是 Harris 检测法, 还有如 Forstner 算子, Moravec 算子等。

线特征是图像中明显的线段特征, 如道路、河流的边缘, 目标的轮廓线等。线特征的提取一般分两步进行: 首先采用某种算法提取出图像中明显的线段信息, 然后利用限制条件筛选出满足条件的线段作为线特征。文献[17]就是先采用 LOG 算子与图像作卷积, 在过零处检测出边缘; 然后以边缘强度的大小作为限制条件, 保留满足条件的轮廓特征。

面特征是指利用图像中明显的区域信息作为特征。在实际的应用中最后可能也是利用区域的重心或圆的圆心点等作为特征, 但其前提是提取明显的区域特征。文献[18]就是提取了图像中较多的湖面区域、油田和气田的块状区域, 然后利用这些区域的重心作为图像特征。

2.2.2 特征匹配

特征匹配是指建立两幅图像中特征点之间对应关系的过程。用数学语言可以描述为: 两幅图像 A 和 B 中分别有 m 和 n 个特征点(m 和 n 常常是不相等的), 其中有 k 对点是两幅图像中共同拥有的, 则如何确定两幅图像中 k 对相对应的点对即为特征匹配要解决的问题。

常用的特征匹配方法有: 互相关系数法、互信息法、聚类法、点间距离法、松弛法^[19]等。

2.2.3 选取变换模型及求取参数

变换模型是指根据待配准图像与参考图像之间几何畸变的情况, 所选择的能最佳拟合两幅图像之间变化的几何变换模型。可采用的变换模型有如下几种: 仿射变换、透视变换、投影变换和多项式变换, 其中最常用的是仿射变换和多项式变换。

仿射变换^[20]是最常用的一种几何变换。它是一种刚性变换, 具有良好的数学特性。仿射变换通常有 4 个参数: 尺度因子 s , 旋转角 q , x 方向平移量 t_x , y 方向平移量 t_y 。它将第一幅图像中的点 (x_1, y_1) 映射为第二幅图像中的点 (x_2, y_2) , 数学表示为

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} \cos q & -\sin q \\ \sin q & \cos q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} \quad (3)$$

多项式变换是图像间存在非线性变形时最常用的变换类型, 如遥感图像中存在由缓和的地形起伏引起的变形, 就可以采用多项式变换模型校正。它将第一幅图像中的点 (x_1, y_1) 映射为第二幅图像中的点 (x_2, y_2) , 数学表示为

$$x_2 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-i} a_{ij} x_1^i y_1^j, \quad y_2 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-i} b_{ij} x_1^i y_1^j \quad (4)$$

求取参数是指搜索计算两幅图像之间最佳变换参数的过程, 常用的算法有最小均方误差法^[21]、聚类分析法、极值优化法、模拟退火算法、遗传算法^[22]等。

2.2.4 坐标变换与插值

在得到两幅图像间的变换参数后, 要将输入图像做相应参数的变换使之与参考图像处于同一坐标系下。则校正后的输入图像与参考图像可用作后续的图像融合或目标变化检测处理。这其中涉及输入图像变换后所得点坐标不一定为整像素数, 则应进行插值处理。常用的插值算法有: 最近邻域法、双线性插值法和双三次卷积法。

3 图像配准技术面临的难题

由于多源图像配准技术在众多领域的重要作用和广泛应用,国内外的研究者对于其进行了广泛和深入的研究,针对不同类型的图像和数据提出了很多种方法。但目前研究中还存在着很多的困难,特别是图像或数据类别差异大(如光学与 SAR 图像)、波段差异大(如可见光与长波红外图像)等情况下的图像高精度、自动配准技术的实现,更是存在较大的困难。下面简述图像配准技术面临的几大难题:

(1) 对于异构传感器图像与数据的配准技术 尽管国内外目前在遥感影像的配准方面已开展了许多研究工作,有些已形成了软件系统,但这些大多是针对影像波段、分辨力、景物特征等一致或比较接近的情况,采用人工或人机交互的方法在待配准的影像间选择控制点。而对于多源空间遥感信息,特别是当它们可能是来自于性质完全不同的传感器,或其波段、分辨力、景物特征等差别很大、甚至完全不同时,它们之间的配准问题还远远没有解决,更没有达到快速、具有较高自动化的程度以满足大规模影像数据处理的需求。

不同性质的传感器获取的图像,图像灰度和特征信息往往有很大的不同。如长波红外图像中目标边缘通常较模糊,因此利用传统的边缘检测方法得到的是多条细微的边缘线,而影响准确地确定目标边缘点的位置,这就给长波红外图像与可见光图像的自动配准带来了很大的难度。还有如 SAR 图像由于与可见光图像成像机理不同,同一地物或目标的图像在灰度、统计特性等方面都有较大的差异。很多研究者对于 SAR 与可见光图像的配准也提出了一些方法,但大多利用河流、湖泊、道路等特征显著的图像进行实验,或在对图像目标有先验知识的情况下进行分类等,算法缺乏广泛的适应性^[23]。

(2) 自动配准的实现 自动配准技术是实时/准实时融合系统工作的前提条件。自动配准是指不需要人工干预,计算机可根据既定的程序自动完成多源图像的配准。但在目前的研究中,很多方法还需要一些人工的干预,无法实现全自动的配准。如多源遥感影像的配准,有时需要根据已知的卫星拍摄分辨力先将图像调整为同一分辨力下。在基于互信息的优化搜索,寻找最佳匹配参数的运算中往往需要给出匹配参数的大致搜索范围等^[24]。这些都给自动配准的实现带来了困难。

(3) 亚像素级精度的多源图像配准的实现^[25] 多源图像配准作为图像融合、运动检测、立体视觉等应用的前提步骤,其精度将直接影响后续操作的效果。如多源遥感图像融合,其配准误差通常都要求亚像素级、甚至深亚像素级,否则会使小目标、细线目标等多源识别失效,融合图像边缘模糊。

但在实际的研究中,由于受图像噪声影响大、利用图像景物特征配准时获取区域和边缘困难、或图像缺乏必需的地面特征点等的限制,高精度的图像配准难度增大。

(4) 快速配准算法的实现 除了需要自动图像配准技术,在建立实时/准实时图像融合系统时,还必须拥有快速的图像配准算法作为保障。但基于灰度的图像配准方法中遍历的搜索和基于特征的图像配准方法中特征的匹配都是比较耗时的运算。如当待配准的图像尺寸变大时,图像数据量增大,特征点数量随之增多,特征匹配的计算量更是呈几何级数增长,在这种情况下要实现高精度的配准,必然占用较长的运算时间。而传统的利用人工选取控制点的方式更是难以满足快速和实时的要求。因此如何提高配准处理速度,达到快速和实时的要求也是图像配准的一大难题。

(5) 较大几何位置差别条件下的配准技术的实现 在待配准图像之间有较大的尺寸比例差别、较大的旋转角及较大的平移时,甚至还伴随着各自图像的畸变,或存在较严重的几何校正残余误差等情况下的配准,也存在严重的困难。许多在上述差别较小时适用的算法,在遇到这种情况时,常常会无法实施。

4 多源图像配准技术的应用与展望

图像配准是多源数据融合、时序图像分析、目标变化检测、目标识别、图像镶嵌等实际问题中的重要步骤,其应用遍及军事、遥感、医学、计算机视觉等多个领域。

图像融合技术最早被广泛应用于军事领域^[26],其中图像配准技术的应用也就随之产生。如在野战环境中,热红外图像能观察到藏匿于树丛中的人和坦克,但却不能反映整个环境情形,可见光图像能清楚地反

映整个环境的面貌。对热红外和可见光图像配准融合后,能定位目标隐藏的位置,协助作战。总之,军事上所有需要图像融合、目标跟踪与识别,以更全面的掌握战场环境的场合就需要图像配准技术的前期应用。

遥感是目前为止能够提供全球范围的动态对地观测数据的唯一手段,它在航空、航天、军事侦察、气象预报等很多军用和民用领域有着广泛的应用。遥感图像成像模式多种多样,通常在同一地区获得大量不同传感器、不同尺度、不同光谱、不同时相的影像数据,而在融合这些多源遥感影像数据时就必须应用图像配准技术^[27],校正各类图像之间的变化,得到地物信息的更清晰准确的表示。

医学中不同模态的图像能提供解剖结构、生理特征、机能形态等不同方面的信息,而不同模态的图像往往具有不同的成像机理,且在不同视角、不同时间拍摄。因此在多模态图像融合前应先进行多模态医学图像的配准,准确定位病变或手术位置^[28]等,给医学诊断和制订治疗方案提供更加准确全面的影像依据。

目前国内外对于多源遥感图像的配准、多模态医学图像的配准技术等进行了很多研究,在相关文献中也提出了很多种配准的方法。但这些方法大都是针对某一种特定的应用而独立研究的,这使得各种配准方法较多但却不成体系,且算法的鲁棒性不够强。图像配准涉及复杂的图像分割、特征提取、模式识别与匹配、优化算法等多项技术,但在很多方面却缺乏系统的理论指导,国内关于图像配准技术的教材或专著也几乎没有。特别在上述分析的各种困难条件下的图像之间的配准等方面还存在如前所述的严重困难。

因此建立新的理论框架,提高算法的自动化程度、鲁棒性和运算速度等是图像配准技术的发展方向。为此需要尽可能结合与挖掘现有方法中的优点,同时针对上述难点,开发研究新算法,例如基于样条小波基的图像多尺度分析、多尺度特征点提取和多尺度特征点匹配的图像快速配准方法,充分利用小波的多分辨分析理论,利用其在空间域和频率域同时具有的良好局部化性质,形成多传感器图像上的多尺度匹配模型;利用遗传算法、神经网络等先进的优化选择方法进行配准参数的优化搜索;甚至可尝试突破以往图像配准研究只是停留于算法软件开发的传统,利用基于高速数字信号处理器(DSP)的硬件系统来实现实时的自动图像配准技术。

参考文献:

- [1] 夏明革,何友.多传感器图像融合应用评述[J].舰船电子对抗,2002,25(5):38-44.
XIA Ming-ge, HE You. A survey on multisensor image fusion [J]. **Shipboard Electronic Warfare**, 2002, 25(5): 38-44.
- [2] OWN H S, HASSANIEN A E. Multiresolution image registration algorithm in wavelet transform domain[A]. **IEEE 14th International Conference on Digital Signal Processing**[C]. Santorini, Greece: IEEE, 2002, 2. 889-892.
- [3] HAIKEL Salem Alhichri, MOHAMED Kamel. Image registration using virtual circles and edge direction [A]. **IEEE 16th International Conference on Pattern Recognition**[C]. Quebec, CANADA: IEEE, 2002, 2. 969-972.
- [4] LISA Gottesfeld Brown. A survey of image registration techniques [J]. **ACM Computing Surveys**, 1992, 24(4): 325-376.
- [5] XIE Zhi-yong. Image registration using hierarchical B-Splines [D]. USA: Arizona state university, 2002.
- [6] Barnea D I, Silverman H F. A class of algorithms for fast digital registration [J]. **IEEE Trans. Computer**, 1972, (21): 179-186.
- [7] KUGLIN C D, HINES D C. The phase correlation image alignment method [A]. **Proceedings of 1975 IEEE International Conference on Cybernetics and Society**[C]. New York, USA: IEEE, 1975. 163-165.
- [8] 王小睿,吴信才,李军.模拟退火算法的改进策略在模板匹配上的应用[J].小型微型计算机系统,1997,18(8):32-37.
WANG Xiao-rui, WU Xin-cai, LI Jun. The application of improved simulated annealing algorithm in template match [J]. **Mini-Micro Systems**, 1997, 18(8): 32-37.
- [9] AVERBUCH A, KELLER Y. FFT based image registration [A]. **Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing**[C]. Orlando, USA: IEEE, 2002, 4. 3608-3611.
- [10] Yao Jianchao. Image registration based on both feature and intensity matching [A]. **Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing**[C]. Kauai, Hawaii, USA: IEEE, 2001, 3. 1693-1696.
- [11] FONSECA L M G, COSTA M H M. Automatic registration of satellite images [A]. **IEEE Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing**[C]. Campos do Jord, BRAZIL: IEEE, 1997. 219-226.

- [12] HSIEH J W, LIAO H Y M, FAN K C, et al . Image registration using a new edge-based approach [J]. **Computer Vision and Image Understanding**, 1997, 67(2): 112-130.
- [13] 钮永胜. 可见光与热红外图像配准技术研究[博士后出站报告][R]. 北京: 北京理工大学光电工程系, 1999.
NIU Yong-sheng. A research on image registration techniques for visual and infrared images [R]. Beijing: Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, 1999.
- [14] 张 迁, 刘政凯, 庞彦伟, 等. 基于 SUSAN 算法的航空影像的自动配准[J]. 测绘学报, 2003, 32(3): 245-250.
ZHANG Qian, LIU Zheng-kai, PANG Yan-wei, et al. Automatic registration of aerophotos based on SUSAN operator [J]. **Acta Geodaetica et Cartographica Sinica**, 2003, 32(3): 245-250.
- [15] 周 鹏, 谭 勇, 徐守时. 基于角点检测图像配准的一种新算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2002, 32(4): 455-461.
ZHOU Peng, TAN Yong, XU Shou-shi. A new method of image registration based on corner detection [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2002, 32(4): 455-461.
- [16] Il-Kyun Jung, Lacroix S. A robust interest points matching algorithm [A]. **Proceedings of Eighth IEEE International Conference on Computer Vision**[C]. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2001, 2. 538-543.
- [17] HUI Li, MANJUNATH B S . A contour-based approach to multisensor image registration [J]. **IEEE Transactions on Image Processing**, 1995, 4(3): 320-334.
- [18] TON J, JAIN A K. Registering Landsat images by point matching [J]. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 1989, 27(5): 642-651.
- [19] COX G S, JAGER G De . A survey of point matching techniques and a new approach to point pattern recognition [A]. **Proceedings of 1992 South African Symposium on Communications and Signal Processing**[C]. Cape Town, South African: IEEE, 1992. 243-248.
- [20] 刘 武 . 图像融合中图像配准方法的研究[D]. 北京: 北京理工大学光电工程系, 1996.
LIU Wu . A research on image registration methods for image fusion [D]. Beijing: Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, 1996.
- [21] Shinji Umeyama. Least-Squares estimation of transformation parameters between two point patterns[J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 1991, 13(4): 376-380.
- [22] INGLADA J, Adragna F. Automatic multi-sensor image registration by edge matching using genetic algorithms [A]. **IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium**[C]. Sydney, Australia: IEEE, 2001, 5. 2313-2315.
- [23] 于秀兰, 刘绍龙, 钱国蕙, 等 . 一种多光谱和 SAR 遥感图像的配准方法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(2): 100-105.
YU Xiu-lan, LIU Shao-long, QIAN Guo-hui, et al . A new method for multi-spectral and SAR remote sensing image registration [J]. **Journal of Image and Graphics**, 2000, 5(2): 100-105.
- [24] Clark F Olson. Image registration by aligning entropies[A]. **Proceedings of 2001 IEEE Computer Society Conference**[C]. Kauai, Hawaii, USA : IEEE, 2001, 2. 331-336.
- [25] Jay Bailey West . Predicting error in point-based registration[D]. USA: Vanderbilt University, 2001
- [26] 毛士艺, 赵 巍 . 多传感器图像融合技术综述[J] . 北京航空航天大学学报, 2002, 28(5): 512-518.
Mao Shi-yi, Zhao Wei . Comments on multisensor image fusion techniques [J]. **Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics**, 2002, 28(5): 512-518.
- [27] 刘 哲, 任金昌, 李言俊, 等 . 面向遥感应用的图像融合的原理和方法[J] . 航空计算技术, 2001, 31(4): 9-12.
LIU Zhe, REN Jin-chang, LI Yan-jun, et al . Principles and methods for image fusion toward applications on remote sensing[J]. **Aeronautical Computer Technique**, 2001, 31(4): 9-12.
- [28] Thomas Netsch, Peter Rösch, Arianne van Muiswinkel, et al. Towards real-time multi-modality 3-D medical image registration [A]. **IEEE Eighth International Conference on Computer Vision**[C]. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2001, 1. 718-725.