

多重信息多重判据自适应影象匹配*

林宗坚

摘 要

摄影测量影象匹配(相关)是计算机视觉(机器视觉)的一个重要方面。目前影象匹配的各种算法只限于采用局部影象灰度和单一判据,这是造成匹配结果不可靠的重要原因。本文引入信息理论,对影响匹配可靠性的诸因素进行了定量分析,在此基础上结合人类视觉理论研究成果及摄影测量立体观测的经验,提出了多重信息多重判据影象匹配的理论,并阐述了采用影象结构信息辅助局部灰度和自适应控制措施予以具体实现的方法。

【关键词】 影象匹配; 计算机视觉; 可靠性; 信息论, 影象结构

引 言

现时一般的摄影测量都依赖作业员的双眼观测立体像对的左右影象,识别同名象点,以确定被测目标的三维空间坐标。自从1958年 Hobrough 设计第一个立体测图相关器起,摄影测量界开始了立体影象匹配(又称影象相关)的研究。我国也于1978年由王之卓教授^[1]倡导起步进行这方面研究。这项研究的目的在于研制一套系统,能自动地在立体影象中寻找同名点,以取代人眼的立体观测功能。30年来的研究已经积累了相当丰厚的成果。例如:经过电子相关、光学相关和数字相关的探索,从而确定了目前数字相关的基本道路;参照摄影测量的经典理论,创造了核线相关方法;引用最小二乘理论,实现了高精度相关;吸取了人类视觉系统生理学与心理学研究成果,发展了基于影象边缘的匹配技术;使用了CCD相机,发展了实时摄影测量等。

由于立体影象匹配问题本身的复杂性,30年来这项研究遇到了重重困难,以致至今尚未形成普遍适用的产品。但是,人们向这个目标进取的兴趣却长葆不衰。除了学术上的意义之外,主要吸引力来自这项技术潜在的广泛用途。已经发现的应用有航测自动化、遥感影象纠正、飞行体自动导航、字符与指纹识别等,还有一项尤其令人向往的用途是机器人视觉。

收稿日期:1988-07-30

* 本文是博士论文的一部份,指导教师为王之卓教授。

目前“机器视觉系统”虽已广见于世界的制造工业，有百余家公司可以提供这种产品，但是现今的技术只限于处理简单的多面体目标，对于任意复杂的表面形态，如岩洞内壁、地表起伏、自然景观等还缺乏可靠的技术手段。问题的根本解决还有赖于影象匹配技术的进展。这一技术在计算机界又称为计算机立体视觉。

至今影象相关还没有成为普遍应用的摄影测量手段，其主要原因是可靠性不足。积30年经验，目前已经用以解决可靠性问题的措施大约有四个方面：多频道控制；基于影象特征的匹配；几何条件约束；人工干预等。然而，多年实践证明，仅有上述手段还不足以解决实际困难问题。实践中提出的许多问题，需要新的理论和技术手段。

本文首先引用信息理论对影响影象匹配可靠性的诸因素进行定量分析，在此基础上，结合人类视觉理论及摄影测量经验，提出多重信息多重判据的影象匹配理论，最后叙述通过影象结构信息辅助局部灰度实现多重信息多重判据影象匹配的具体方法及匹配过程的自适应控制问题。

1 多重信息多重判据影象匹配方法的理论依据

1.1 影象匹配问题的信息论分析

不可靠的匹配结果首先来自被用作匹配的影象块（目标区）所含信息量不足。设某目标区影象灰度序列为 g_0, g_1, \dots, g_t ，邻元灰度增量为 $\Delta g_1, \Delta g_2, \dots, \Delta g_t$ ，则该目标区信息量可近似表达为

$$X = -\log[P(g_0)P(\Delta g_1)\dots P(\Delta g_t)] = -\log P(g_0) - \sum_{k=1}^t \log(\Delta g_k) \quad (1)$$

式中 $P(g)$ 表示灰度 g 出现的概率。

经统计，影象灰度信号呈正态分布规律，因而目标区的平均信息量（熵）可表达为

$$H = \ln\sqrt{2\pi e\sigma_g^2} + t \cdot \ln\sqrt{2\pi e\sigma_{\Delta g}^2} \quad (2)$$

式中， σ_g 和 $\sigma_{\Delta g}$ 分别表示 g 和 Δg 的均方根值。

上式表明，在没有噪声干扰，且被摄物体表面平坦的条件下，目标区所含信息量是随着目标区尺寸的增加而增加的。这时只要充分扩大目标区，总能获得足够信息量。但是，实际立体影象存在噪声干扰。即使某局部左右影象灰度等同，亦难肯定它们是同名影块。这是噪声引起的疑义度，可表为

$$H(n) = \ln\sqrt{2\pi e\sigma_n^2} \quad (3)$$

式中 σ_n 为噪声 n 的均方根值。

同时，由于被摄物体表面起伏影响，左右影象信号存在沿核线方向的相对位移。尽管许多影象匹配系统都有相对位移的改正措施，却因为这些相对位移是影象匹配最终要解求的未知数，故一般只能按多项式作低次项改正，尚未改正的位移将产生如同噪声般的影响，这是位移疑义度。设影象信号自相关系数为 ρ ，位移值为 τ ，可以证明，位移疑义度为

$$H(\tau) = \ln\sqrt{4\pi e\sigma_g^2(1-\rho^2)} \quad (4)$$

顾及噪声疑义度与位移疑义度，目标区的有效信息量为

$$H_T = H - H(n) - H(\tau) = t \cdot \ln \sigma_{\Delta s} - \sum_{k=0}^t \ln \sqrt{2(1-\rho^*) + (\sigma_a/\sigma_s)^2} \quad (5)$$

上式中 $\tau = \tau(k)$ 表示目标点 K 的位移值。

显然，由于噪声疑义度和位移疑义度的存在，扩大目标区尺寸并不一定能增加目标区的有效信息量。实际上存在一些不含有效信息量的影象块。如果采用这些影块作匹配，就难以得到可靠结果。值得注意的是，有效信息量低的影块，有的是影纹贫乏的，有的是影纹细密的（例如树林）。应用目前时兴的基于边缘特征的匹配，可以有效避免前一种情况，却难于对付后一种困境。欲解决这类困难影象匹配问题，仅仅利用局部灰度信息是不够的，必须引用其它信息（例如目标区以外的影象结构信息），即需要多重信息。

1.2 人眼立体视觉理论和摄影测量经验

Grimson^[8] 曾通过随机点立体效应说明，人类眼睛可以从单片看起来没有任何景物和图形意义的纯灰度立体影象中形成立体效应。但是人类视觉的全面研究说明，人眼视觉具备亮度知觉，色彩知觉、图形识别和立体感知等多项复杂功能。即使只用一只眼睛先后观察立体象对的左右片，也能根据影象结构图形识别相当数量的同名点。摄影测量立体观测的经验说明，人们用双眼观测立体象片时，除了感知象片上的灰度变化外，还同时感知影象纹理结构，依靠多种知觉建立起更强壮的立体效应，以对付各种困难的情况。因此，模拟人类眼睛功能的计算机立体视觉系统也应当注意利用多重信息提高影象匹配的可靠性。

1.3 相关算法的矢量分析

除了信息量的原因外，不可靠的匹配结果还来自相关算法的不完善。现有流行的用以判断影象相似（相关）程度的算法，诸如相关系数、协方差、差的平方和、差的绝对值总和等，都属于单一判据。引用矢量分析的方法^[4]可以从理论上说明，任何单一判据都只是一个片面来描述左右影象信号间的接近程度。例如相关系数算法衡量的是目标矢量与比较矢量间的夹角，协方差算法衡量的是目标矢量在比较矢量上的投影，差的平方和及差的绝对值总和法衡量的是比较点到目标点间矢量的欧氏范数和绝对值范数。无论模拟的数据或实际的数据都可验证说明，不同判据存在差异，出现错误的情况各不相同。当试验中有意引入粗差时，单一判据剔错能力就很差。鉴于单一判据在理论上的不完善性及相互间的差异，采用多重判据可以增强相关结果的可靠性。例如，采用协方差与差的绝对值总和双重判据。就能获得比相关系数法更好的结果。当然，在多重信息的情况下，就更宜采用多重判据。

2 结构信息辅助的影象匹配的技术问题

2.1 影象结构信息的提取

把影象结构信息引入影象匹配需经过噪声滤除、影象分割的特征描述三个步骤。

在影象匹配的预处理中，过去常用的滤除噪声措施是低通或带通滤波。这类线性空间不变滤波器的最大缺点是，在滤除噪声的同时衰减了边缘信息，而边缘信息对于影象匹配又是非常有用的。引用 Nagao 和 Matsuyama^[12] 的“保护边缘的平滑”方法，能够做到既滤除噪声又保护边缘不受侵蚀。

在保护边缘的平滑处理后，用边缘检测法作影象分割。经过分割后，反映影象各均匀区域边界的信息寓于栅格型灰度数据中。为了与核线影象处理相配合、区域边界信息采用两种方式表达，沿 X 方向（核线方向）的信息表达方式不变（保持灰度阶跃形式）；沿 Y 方向的信息则转换成四项参数形式，这四项参数是：各象元到达上方和下方边界的 Y 向距离及其间的灰度均值。

2.2 按信噪比建立分层控制

多频道控制是过去常用的增强可靠性办法之一。近年来，随着实践经验的逐渐丰富，人们发现实际影象的某些局部可能在一个频道或几个频道内缺乏可相关的信息，从而使多频道控制失效。我们从信息论观点出发，提出按目标区信噪比建立分层控制的办法，从而建立起从高可靠性到低可靠性的逐级控制。简单具体的做法是：在筛选目标区的同时，按边缘处的灰度阶跃值分层，阶跃值每缩减一半，搜索范围也缩减一半，根据高信噪比层的匹配结果内插提供低信噪比层的搜索起始位移。

2.3 影象结构信息辅助的影象匹配

影象结构信息连同影象原始灰度信息构成多重信息，在不同阶段通过不同的判据，最终取其一致的匹配结果。影象结构信息用于目标点选择及候选匹配点的确定。对于需要竞争的候选点，则结构信息与灰度信息并用。匹配视差的精确值仍然由原始影象灰度的匹配来确定。

2.4 提高处理速度的自适应控制

引用多重信息、施加多重判据，固然能构成强壮可靠的匹配算法；但是，如果对于每个匹配点都统一地使用全部的信息和判据，那就会使整个处理过程变得非常缓慢。因此需要设计一套自适应控制方案，使不同困难程度的影象点通过不同数目和不同复杂程度的判据。这样就可以在大多数容易肯定或否定的点上少花时间，而在少数困难点上聚集各种强壮措施以保证可靠性。以致从总体上做到可靠性与速度兼顾。

2.5 几何约束条件的应用

用以增强影象匹配可靠性的几何约束包括成象几何条件约束和地形连续性约束两种类型。在我们的设计方案中，成象几何条件约束靠核线匹配方法来实现。地形连续条件约束则有两种应用：一是对困难点采用周围点信息辅助；二是沿核线作全面的视差断面内插。

按照上述理论和方法，已经编制成计算机程序，并使用三种不同类型、不同地区的影象资料进行试验。结果表明，多重信息多重判据影象匹配能适应多种情况，成果稳定。进一步优化程序和改善计算机设备条件，可望在近期内发展成一种实用的计算机立体视觉系统。

参 考 文 献

- 〔1〕 王之卓。全数字化自动测图系统研究方案。武汉测绘学院第三次科学报告会论文，1978。
- 〔2〕 张祖勋，张剑清。全数字自动化测图系统软件包。测绘学报，1986，15(3)。
- 〔3〕 张祖勋，林宗坚。摄影测量测图的全数字化道路。武汉测绘学院学报，1985，(3)。

- [4] 林宗坚. 相关算法的矢量分析. 测绘学报, 1985, 14 (2) .
- [5] 荆其诚等. 人类的视觉. 科学出版社, 1987.
- [6] Ackermann F. High Precision Digital Image Correlation, 39th , Photogrammetric Week, Stuttgart; 1983.
- [7] Förstner W. On the Geometric Proecision of Digitail Correlation . ISPRS Comm. III Symp. Helsinki, 1982.
- [8] Crimson W E L. From Image to Surfaces—A Computational Study of the Human Early Visual System. The MIT Press, 1981.
- [9] Hobrough G. Stereo Correlation for Large Scale Photogrammetry. Comm. II of 15th ISPRS Congr. Rio de Janeiro ; 1984.
- [10] Konecny G, Pape D. Correlation Techniques and Devices. Comm. II of 14th ISPRS Congr. Humberg; 1980.
- [11] Lumia R et al. Texture Analysis of Aerial Photographs. Pattern Recognition, 1983, 16(1) .
- [12] Nagao M, Matsuyama T. A Structural Analysis of Complex Aerial Photographs. Plenum Press, 1980, 32~52.
- [13] Rosenholm D. Multi-Point Matching Using the Least Squares Technigues for Evalu ation of Three Dimensional Models. Photogramtric Engineering and Remote Sensing, 1987, 53(6); 621~626.

Multi-information and multi-criterion

Adaptative Image Matching

Lin Zongjian

Abstract

Photogrammetric image matching/correlation is an important aspect of computer vision/machine vision. Many image matching algorithms make use of the local gray information only and utilize a single criterion for matching processing, that is one of the reasons why the reliability of the results is usually very low. In this paper, information theory, human-visual-system research achievements and photogrammetric stereo-observation experiences are introduced to analyse the factors influencing the matching reliability. Based on that, the theory of multi-information and multi-criterion image matching comes thus into being. The method of image matching aided by image structural characteristics and the adaptative control technique are briefly described.

[Key words] image matching ; computer vision ; reliability ; information theory ; image structure