

〔日〕精机学会图像测量分会 编
植村 恒义 主编

孙培慧 等译

图像测量入门

计 量 出 版 社

图 像 测 量 入 门

〔日〕精机学会图像测量分会编

植村恒義 主编

孙 培 悉 等译

计 量 出 版 社

1 9 8 3

内 容 提 要

本书综述了图像测量的各种方法、原理和应用。内容包括科技摄影的利用, 高速摄影和实体摄影测量, 利用全息术、激光散斑和莫尔拓扑法进行的光学图样测量, 微图形的瞄准、定位和判读, 利用图像传感器的实时测量和采用数字计算机及光学信息处理的图像数据处理等。本书可供从事精密计量、图像测量和信息处理的技术人员及高等院校的有关师生参考。

画 像 計 測 入 門

〔日〕精機学会画像計測分科会編

編集委員長 植村恒義

株式会社昭晃堂 1979

图 像 测 量 入 門

〔日〕精机学会图像测量分会編

植村恒義 主编

孙培懋等译

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

—n—

开本 850×1168 1/32

印张 8

字数 199 千字

印数 8000

1983年4月第一版

1983年4月第一次印刷

统一书号 15210·143

定价 1.20 元

科技新书目: 21—149

图 像 测 量 入 门

(日本) 精密机械学会图像测量分会编

编辑、执笔人名单 (按50音图顺序)

主编	植 村 恒 義	东京大学工学院
编委	斎 藤 弘 義	理化学研究所
	辻 内 順 平	东京工业大学工学院
	吉 澤 徹	东京农工大学工学院
	吉田庄一郎	日本光学工业公司
	山 本 芳 孝	东京大学工学院
执笔		
	秋 山 伸 幸	日立制作所生产技术研究所
	植 村 恒 義	东京大学工学院
	倉 沢 一 男	浜松电视公司
	斎 藤 弘 義	理化学研究所
	鈴 木 正 根	富士写真光机公司
	辻 内 順 平	东京工业大学工学院
	長 野 末 光	纳库公司
	丹 羽 登	东京大学宇宙航空研究所
	松 永 梧 郎	纳库公司
	道 野 敏 雄	纳库公司
	山 口 一 郎	理化学研究所
	山 本 芳 孝	东京大学工学院
	吉 澤 徹	东京农工大学工学院
	吉田庄一郎	日本光学工业公司

译者的话

随着近代技术的发展,几何量的尺寸和形位测量已从简单的一维坐标或形体发展到复杂的二维甚至三维的物体;从静止的对象发展到高速运动的物体,从宏观物体发展到微观的结构,这当中无论哪种形式的测量,或者其被测量的对象本身就是一个图像,或者其结果需要以图像的形式表现出来。这些图像中包含着极其丰富的信息,是人们从客观世界中获得信息的重要手段。因此,正确地测量和处理图像已成为测量技术中的重要课题,形成了一个新的分支——图像测量技术。它广泛地应用于航空等遥感测量及图像处理、医用及金属图像的测量、微电子技术中微图形的检测、精密复杂机件的微尺寸和外观质量的检验、光波干涉图、应力应变场等状态分布图的判读等和图像有关的技术领域中。图像测量作为机器视觉的基础,当它与被测对象组成反馈回路时,还可构成能具有自动瞄准、定位、校准、判读和景物识别等各种功能的控制系统,这就为进一步发展人工智能技术打下了良好的基础。因此,作为图像科学的一个组成部分,图像测量将会随着信息科学和人工智能的发展而日益显示其重要的作用。

为满足各种技术领域对图像测量提出的日益增多的技术要求,图像测量已从古典的光学测量方法跨入近代科学的行列中。它广泛地引进了高速及立体摄影、激光测量、电视及光电子学、计算机技术和图像处理等新技术,组成混合的测量系统,这就极大地提高了它的测量能力,扩大了应用的灵活性,并为它的应用和发展开辟了崭新的途径。因此,图像测量是近代技术相互渗透的跨学科的结果,涉及到广泛的学科领域。

本书是一本有关图像测量的技术参考书。书中从精密测量的角度出发,系统地阐述了利用近代光学、电子学和计算机技术进行图像测量的方法和原理;收集了近年来有关技术的重要成果和

许多已在生产实践中行之有效的各种应用实例，其中包括科技摄影的基本方法和装置，高速摄影和实体摄影测量，利用全息术、激光散斑法和莫尔拓扑法进行的光学图样测量、对以大规模集成电路为代表的微尺寸和微图形的瞄准和测量，利用各种类型图像传感器的实时测量和采用数字计算机和光学信息处理的图像处理方法。全书共分六章，由日本精密机械学会图像测量分会组织日本有关专家集体编写而成。书中对有关图像的许多领域中的技术成果进行了归纳和提炼，确立了图像测量学科的基础。尽管这种归纳方法尚有待进一步的发展，但作为一个良好的开端应该说这是该书的一个重要的贡献。

本书取材新颖，涉及技术范围广泛，既有一定的理论深度又侧重于实际的应用，因此对于在理、工、医各领域中从事图像测量和信息处理的技术人员，高等院校应用物理、光学、电子学、精密测量、医学工程等专业的师生，都是一本有用的入门参考书。

本书的性质是入门性的，这就要求在一定的篇幅内对图像测量作全面的阐述，因此书中的有些论述和应用介绍是很精炼的。读者在需要时请参照书中所列的参考文献。

参加本书译校工作的有：康立民（第一章译），何庆生（第二章译），孙培懋（绪论、第三、四、五章译，第一、二章校），何树荣（第六章译），李达成（第三章、六章后部校）张孝棣（第三章部分校），丁天怀（第四、五章校）和容观澳（第六章前部校）。孙如心同志对全书的文稿作了详细的审核，最后由孙培懋整理定稿。郑容和李滋兰参加了译校工作。由于我们的水平有限，译文难免有错误和不妥之处，尚请读者指正。

最后要提到的是，在本书的翻译过程中，得到了原书的主编、东京大学工学院植村恒义教授和清华大学精密仪器系光学仪器教研组许多同志的帮助，在此向他们表示深切的感谢。

1981年7月于清华大学

前 言

图像测量是以光学为中心发展起来的测量方法，由于日本先进科学技术的支持，这一学科即便在精密机械学会也成为重要的活动范围。近年来科学技术的显著发展，不仅采用了光学而且由于引进了电子学和计算机技术，正在使图像测量进一步引向实际应用。鉴于这种形势，精密机械学会从1975年也设置了“图像测量研究调查分会”，一直在切实地开展着活动。作为其活动的一环，于1976年秋举办了以“最近的图像测量及其方法”为题的图像测量讲习班，博得了相当的好评。除了有精密和机械工程的技术人员参加外，还有许多来自电工学直至医学牙科学等各领域的参加者。这里，把当时的教材在重新构思的基础上进行了全面地改写，从精密测量的观点重新评价图像测量的范围，经过整理试编成了本书。

图像测量是近几年来突出发展起来的学科，尽管最近以来各种专题文章在许多领域中显露头角，但是作为汇编成文的著作还未见诸于世。因此我们主要以最近的专题为主，通过对图像测量的重新认识，试图组成统一的整体。正因为这是边缘学科特点很强的领域，作为一个统一的体系，很难说处理得非常得当，对于不协调和不足之处，希望给予谅解。

本书是按照图像的形成、记录、处理、再现这样的安排，从精密工程的角度编写的。我们恳切地期待这本书不仅能对精密工程、机械工程，而且能对从事电气、电子、医学等各方面的有关人员提供参考。

另外，作为和本书有关的国际会议，曾于1978年8月20日到25日在东京召开了“第13次高速摄影和图像测量国际会议”（由精密机械学会主办，有20余学会和协会参加）。

该会议包括为研究高速现象所采用的“由毫秒到微秒”的各

种测量法及其在各领域中的应用，有关图像处理以及与之相关的图像测量方法等广泛的内容。发表了国外的学术论文 120 篇，国内论文 60 篇。特别是在中心会场历时五天举行了“特别招待报告会”，会上发表了来自世界各国的权威专家的 13 篇报告和日本国内专家的 10 篇报告。作为学术交流会，它不但对了解该领域内日本国的现状而且对了解世界各国的发展状况都取得了显著的成效。这次会议有来自国外的约 160 人和国内的约 500 人参加。同时举办了“瞬间的世界”的图片展览和第一次国际图像测量仪器展览，展览历时四天，有一万多人应邀前来参观。

最后，向为本书提供了标致的卷头插图和封面照片的频闪观测法创始人、著名的美国麻省理工学院名誉教授 Harold E. Edgerton 博士致以深切的感谢。

主编 替村恒义

1979年3月

图 像 测 量 绪 论

所谓“图像 (image)”这一术语，过去曾经是以照片和影片为代表的，随着电视技术的普及，即使在普通的家庭中也都成为非常熟悉的概念。进而随着气象卫星的实际应用，正象通过照片这种图像获得的结果能够预测到次日的气候那样，利用图像来测量信息的状况业已深入到我们的日常生活之中。这样，图像的存在和我们大家有了密切的联系。有关图像技术的进一步迅速发展，使人们深刻地认识到比起单纯作为艺术或是记录手段的应用，它具有更多的用途。事实上，即使在科学技术领域中，自六十年代末就已经在图像工程 (image technology) 或者图像科学 (image science) 的总名称下，开始将有关的各个领域统一起来加以系统化的尝试，在原来往往是分别进行处理的光学、电子学、精密工程和机械工程中，对有关图像的内容加以概括，形成新的概念这样的工作方向也取得了进展。在这种背景下，所谓图像测量就是当测量被测对象时，把图像当作检测和传递信息的手段或载体 (carrier) 加以利用的测量方法，其目的是从图像中提取出认为需要的信号 (signal)。

回顾一下科学技术的发展状况，历史上一直是把重点放在能源 (power) 的开发上。人类把原来用自己的力量做的工作，先是使用动物的力量，接着利用风和水等自然力来进行，不久开始使用人造动力，引起了产业革命。现在，寻求动力的工作已经进行一个阶段，对于今后如何开展这项工作，以及用于什么地方这一点，目前可以说已经进入到信息的时代。换句话说，现今时代正处于继动力革命之后的信息革命之中，对信息要求尽快的识别、妥善地处理以及根据需要进行再现。测量的目的在于正确地获得需要的信息，利用图像的测量能够成为这样一种具有多种特征的测量方法。

图像测量有很多特点，下面我们想就其中特别重要的部分加以说明。其一是有关图像所具有的信息整体性的特点。图像以及由它得到的记录是具有多维性质的（由实体摄影和全息术得出的记录是具有三维性质的典型）。在记录到的结果中包含着有关被测对象的二维信息和三维信息，为说明这一点，以形状测量为例，若把莫尔拓扑测量和用所谓触针型三自由度测量机测得的结果加以比较，就可以清楚地看到和用点的测量相对应，面的测量也是切实可行的。并且记录到的信息量是极其丰富的，通过事后的处理就能单纯地提取所需要的目标信息（不过，与此相反，若预先不将目标搞清楚，当图像测量时就会被过多的信息所眩惑，反而带来了麻烦）。图像具有面的“扩展”这一属性，指的是存在着形状而不单是存在着点，它使由图像得到的记录具有了形象性。本来，由于图像这一存在本身就是有形象的，而人的眼睛是非常完善的光学传感器，这些事实相结合，在利用图像时就应该能够直观地得到被测对象的整体信息。即使是图像也不单是仅指实际的图像，这当中，如果记录到像干涉条纹这样的条纹图样，进一步就能更加直观地以整体的状态取得易于表现变形和形状的信息。

图像测量的第二个特点想列举出它具有的时间选择性。这种性质意味着能够把对象的整体在任意的时刻内瞬时地加以固定和记录下来，记录下来的结果可在事后充分地进行分析。图像一旦记录下来就能不受时间变迁的影响而长期保存，并可根据需要进行仔细地观察研究。作到这一点应该说多亏了由照相和印刷法保留下来的图像的帮助。就时间选择的间隔来说，以较长的间隔长时间持续地在图像上收录就得到所谓的低速影片。相反若以非常短的时间间隔进行摄影就成为高速影片。就是说，通过将该图像缓慢地再现出来就能将时间延长，进而对现象进行观察。由照相和印刷法得到的图像能经受住长期地保存之后还是稳定的，这一事实表现出它有很高的存贮能力。但是由于使用目的的不同，相反地，也常常要求在任意的时间、地点把已记录到的图像消除掉。关于这一方面，以电的方法为主，随时消掉某些记录同时保留另外一

些记录的技术已经得到实际应用。这样一来就可以根据使用目的的不同实现保存和消掉图像这两种相反的要求。

将上述二种特征结合起来,不但能够同时而瞬时地测定出所需的空分布的信息,而且对瞬间传送的信息,如果有必要也能在极短的时间内进行光电变换等不同的处理。最近在光学信息处理中经常采用的像傅立叶变换、相关和卷积积分等方法都已经能够在瞬时间内取得图像的模式。

下面再举出另一个特点,即可以进行非接触测量。在通常的测量中往往是将检测装置安装到接近于被测对象或是与之接触,这样便产生了测量力的影响问题,有时也存在着因不易接触而不能测量的情况。对于这个问题,像在图像测量中典型的遥感测量实例中所看见的那样,可在远离被测量对象的位置上设置测量点。对于后处理,通过引入计算机也在采取许多措施。本书中也列举了一些有关的实例。

那么,通过图像测量能够获得的信息有哪些呢?大致分类可认为有下列三个方面。

第一是能够取得被测对象的形状。其中包括能大视场地摄取地形的航空摄影测量,近年来利用莫尔条纹进行形状测量的等高线显示,直到微观测量方面的确定物体表面的光洁度和波纹等。这类问题也许稍微偏离了测量这一范畴,成为和图像识别有密切关联的问题。进而,最近随着集成电路和超大规模集成电路的图形测量和图形制造方法的发展,在产业界已经作为重要的问题被提出来。

第二关系到与被测对象的位置有关的信息。要求确定物体在空间处于什么位置,以及它的姿态如何,或是要求得到物体二点间的距离和尺寸,以及作为位置变化量的位移等。例如,利用近年研制的全息技术已经能够以光波波长的量级得到有粗糙表面的物体的位移,凡此种在精密测量的领域中有着划时代的意义。

第三(也许表示得不很确切)是获取被测对象的性质和状态的信息。作为在对象表面上反映出来的性质,例如,通过红外线

热照相机测量温度的分布，以及利用遥感探测确定地球表面的状况是山地还是平原等等，这些都和这一性质有关。

在图像测量这一概念中也许容易联想到“光”和“摄影”这样的术语，因而容易被指责为离不开暗室的繁琐操作，或是由于需要光波干涉技术这种麻烦的工艺方法而感到厌烦。但是，近年来光学技术和电子学的迅速发展，已使图像测量向着更加实用，更容易处理的方向推进了一步，再加上计算机技术的引进使之牢牢地扎根于产业界中。随着光学与其边缘技术的更加密切结合，可以期望图像测量将会取得更大的进展。

目 录

图像测量结论	(1)
第一章 摄影测量法基础	(1)
1.1 摄影测量法的特点	植村 山本... (1)
1.2 摄影测量法的主要问题	植村 山本... (2)
(1) 摄影的真实性问题	(2)
(2) 图像质量问题	(4)
(3) 曝光时间问题	(6)
(4) 显微镜放大摄影的问题	(7)
(5) 黑白摄影和彩色摄影	(7)
1.3 感光材料	植村 山本... (8)
(1) 感光材料的感光度	(8)
(2) 感色性	(9)
(3) 鉴别率	(10)
(4) 颗粒性与对比度	(10)
(5) 显影处理	(11)
(6) 其它感光材料	(11)
1.4 照明光源	植村 山本... (12)
(1) 照明光源的必要特性	(12)
(2) 主要的照明光源及其特性	(13)
参考文献	(15)
第二章 高速摄影测量和实体摄影测量	(16)
2.1 瞬时摄影法	植村 山本... (16)
(1) 瞬时照明法	(16)
(2) 瞬时快门法	(20)
2.2 高速电影摄影法	植村 山本... (23)
(1) 间歇写入式高速摄影机	(24)
(2) 旋转棱镜式高速摄影机	(25)

(3) 鼓轮式超高速摄影机和旋转反射镜式超高速摄影机·····	(26)
(4) 变像管分幅摄影机·····	(30)
(5) 电视方式·····	(31)
2.3 扫描摄影法·····植村 山本··	(31)
(1) 胶片移动型超高速扫描摄影机·····	(32)
(2) 旋转反射镜式超高速扫描摄影机·····	(33)
(3) 变像管超高速扫描摄影机·····	(33)
2.4 高速全息术·····植村 山本··	(34)
(1) 瞬时全息术·····	(34)
(2) 分幅摄影全息术·····	(35)
(3) 高速全息干涉法·····	(35)
2.5 实体摄影测量·····植村 山本··	(38)
(1) 概述·····	(38)
(2) 实体照相摄影法·····	(38)
(3) 实体摄影用的图示仪·····	(40)
(4) 实体摄影测量的应用·····	(41)
(5) 实体摄影测量法的发展·····	(42)
参考文献·····	(43)
第三章 光学图样的测量·····	(45)
3.1 全息术·····斎藤··	(45)
(1) 原理和特点·····	(45)
(2) 全息干涉法·····	(53)
3.2 散斑·····山口··	(58)
(1) 散斑的特性·····	(60)
(2) 基本性质·····	(62)
(3) 应用·····	(65)
(4) 特殊散斑的应用·····	(74)
3.3 莫尔条纹·····吉澤··	(75)
(1) 莫尔现象·····	(75)
(2) 莫尔条纹的性质·····	(76)
(3) 莫尔条纹的形成·····	(81)
(4) 莫尔应用的发展·····	(84)

3.4 图样的应用测量	鈴木	(95)
(1) 前言		(95)
(2) 利用全息术的测量		(97)
(3) 利用散斑的测量		(104)
(4) 利用莫尔拓扑法的测量		(106)
参考文献		(114)
第四章 微图形的测量		(117)
4.1 微图形的显微镜测量	吉田	(117)
(1) 显微镜的光学性能		(117)
(2) 显微镜测量的自动化		(120)
(3) 利用显微镜的图形测量 (应用举例)		(128)
4.2 在生产线上的应用	秋山	(133)
(1) 微小缺陷检查		(133)
(2) 精密位置检测		(143)
参考文献		(150)
第五章 利用图像传感器的测量		(152)
5.1 图像测量系统和图像传感器	仓沢	(152)
(1) 图像测量系统与扫描方式		(152)
(2) 非扫描型传感器		(157)
(3) 扫描型传感器		(159)
5.2 利用图像信息的测量	丹羽	(173)
(1) 利用扫描提取图像信息		(173)
(2) 位移和宽度的测量		(175)
(3) 位置的测量		(177)
(4) 面积的测量		(179)
(5) 亮度分布的测量		(180)
(6) 粒度分布的测量		(180)
(7) 温度分布的测量		(181)
(8) 三维测量		(182)
5.3 图像信息的特征与检测中的问题	丹羽	(182)
(1) 信息特征的识别		(182)
(2) 取样率的提高		(183)

(3) 分辨率和灰阶的提高·····	(184)
(4) 位置测量精度的提高·····	(184)
参考文献·····	(185)
第六章 图像数据处理·····	(186)
6.1 数字处理·····松永 道野 長野···	(186)
(1) 概述·····	(186)
(2) 图像数据的数字处理系统·····	(188)
(3) 数字图像的处理·····	(194)
(4) 数字处理的小结·····	(199)
(5) 数字图像处理的应用·····	(199)
(6) 数字图像处理的应用举例(Ⅰ)·····	(203)
(7) 数字图像处理的应用举例(Ⅱ)·····	(206)
6.2 模拟处理·····辻内···	(208)
(1) 作为模拟处理的光学图像处理·····	(208)
(2) 使用相干光学系统的处理·····	(209)
(3) 使用非相干光学系统的处理·····	(225)
参考文献·····	(236)

第一章 摄影测量法基础

1.1 摄影测量法的特点

所谓摄影测量法是从用各种感光材料记录到的照片图像中提取信息,并用来进行各种测量的方法.从普通卤化银感光材料的照片图像中获得的信息只是密度和色调的变化.如果广义地考虑感光材料而不只限于卤化银,则除了密度和色调信息外,折射率、反射率、偏光率、厚度、硬度以及电荷分布等也能记录成图像的形式而用于测量中.利用这些现象检测出信号并作成图像的方法已被应用于特殊用途的实际应用中.由于黑白照片没有色调的变化,因此图像只有密度的变化才是直接的信息.而利用密度变化与曝光量成正比的特点,可以对被测对象的照度、亮度、光谱分布等进行测量.进一步根据干涉仪的照片等还可将密度的变化用于测量温度和压力的变化.摄影测量法具有其它测量法所没有的许多特点,第一由于是利用人的视觉,因而可以直观地理解现象.也就是说,往往是一经观察就能够理解现象.而且照片图像常常能够同时全面地进行二维空间的记录.相对其它方法,特别是对电气测量这种在本质上是一维记录的方法来说,这也是个很大的特点.例如,虽然利用电的方法所形成的典型的电视图像是二维的,但对记录、再现以及传输来说,不管怎样还必须作为一维信息进行处理.此外,照片图像必然要将时间停住.不言而喻曝光时间是必要的,但曝光时间是可以缩短的.特别是如果需要高的时间分辨率,尚可以利用高速摄影.当进行摄影记录时,不需要直接接触物体,这一点也是个很大的特征.因此摄影测量法是一种非接触的测量方法,可以进行远距测量.它对那些一旦接触就有危险的情况和不能靠近的情况,或者是一经接触后现象就