

# 遥感探测科技在土木工程上之应用\*

吴 究\*\*

(台湾中央大学)

## 摘 要

在不与物空间之实体接触条件下,遥感探测能够侦测到该实物之几何形状和辐射特性。遥感科技主要的课题在辐射方面是数位影象处理,如影象增强和自动化影象相关等,在几何方面是综合定位,即按最小二乘平差法同时合并处理遥感影象中所有的未知参数,包括摄影瞬间之位置和姿态及三维数位(地面)模型中待定点之坐标。遥感资讯的处理已渐渐仰赖功能强之工作站。经介绍数位影象处理和遥感综合定位后,将遥感科技在土木工程上的可能应用分三节加以阐述,并列举文献例:

(一)数位地面模型可应用在土木工程选线及土方计算;(二)近景目标物变形多用来推算地面物体之形状,精确度可达0.09% (站到物之距离);(三)自然、人文环境监视是大区域环境保护工作的要项。为确知污染的属性,需要费时费力之地面真象调查。在下结论之前,亦申述遥感科技在解析力方面力图之改善和用资料库进行管理之必要性。

## 前 言

遥感探测 (Remote Sensing) 是本世纪 60 年代末、70 年代初在科学技术界兴起之学术名称,迄今已有近 20 年历史。它的诞生则与当时登陆月球壮举及探测地球资源计划息息相关<sup>[1,6,7]</sup>。有数理基础和电子及(精密)机械工程师共同参与感测器系统及其飞航载体之设计制造,才有了工作利器进行遥感资料获取。此外,电子计算机在硬体软体方面之研究发展,除了让任务控制及资料记录、传输均能有效率地运作外,亦使后续之影象辐射及几何处理产生现今高品质之资料分析硕果。所以,遥感探测本质上是门跨学术领域之科技。不同的

收稿日期:1988-11-25

\* 全文亦发表于1988年秋在台北举行之中国土木水利工程学会年会学术研讨会。

\*\*台湾中央大学太空及遥感研究中心副教授。

使用者所提出之应用需求，如

- 国家内大区域土地利用规划（自然生态公园保留、农业及都市用地）
- 全国各类比例尺地形图及主题图（土木工程、摄影测量、地理）
- 海洋及陆地环境污染监视与防治（环境工程）
- 农作物成长期之病虫害灾害或林积采伐（农业、森林、水土保持）
- 山脉岩层之纹理走向以利资源探勘（地质、矿冶）
- 区域性或全球性天候变化预报（气象、大气物理）
- 国防全盘军备调度及运用（军事）等

更促使了遥感探测科技扶摇直上，一日千里。本文先阐述遥测影象幅射及几何处理方法，再列举遥测科技适用在土木工程上的一些应用例，以期对遥测与土木间之相辅关系得到具体的认识。

## 1 遥感探测科技

遥感探测代表：在不与目标物接触情况下，分析间接的由载波传递之讯息纪录，而侦测到目标物之几何特征及辐射特性。载波常指的是电磁波谱中可见光波段到近红外线波段，甚至热红外线波段。感测器则利用光学透镜组，汇集各个方向上来自物空间之能量，详见附表。

附表 遥感探测中习用之感测器及其属性一览表 [17·14·5]

感测器	测量用摄影机	多波谱扫描仪	线型 CCD 照相机	非测量用数位摄影机	侧视雷达
波 段	0.35 - 1.2 $\mu$ m	0.3 - 3.0 $\mu$ m	0.45 - 1.0 $\mu$ m	0.4 - 1.1 $\mu$ m	1 - 100cm
波谱解析力	0.2 $\mu$ m	8 - 14 $\mu$ m 0.02 $\mu$ m	0.05 $\mu$ m	0.1 $\mu$ m	0.5%
空间解析力	20-60 lp/mm	0.5 $\mu$ m 20 lp/mm 5 lp/mm	30 lp/mm	40 lp/mm	20 lp/mm
y 视场角度	-60°到+60°	-60°到+60°	-25°到+25°	-50°到+50°	45°到65°
方向/距离测量	方向	方向	方向	方向	距离
主动/被动式	被动	被动	被动	被动	主动
类比/数位影象	类比	数位	数位	数位	类比或数位

(注：lp/mm = line pairs/millimeter; CCD = Charge Coupled Device)

### 1.1 数位影象处理

遥感探测影象固然足够让使用者初步观看地物类别，为了能提升遥感资讯之应用效益，额外的影象处理是必须的。在获取数位资料时，因为受到信号杂讯比 (Signal to Noise Ratio) 的影响，整幅影象灰值 (Gray Values) 之密度分布函数会呈现高耸集中的图形模样，灰值对

比差异不够明显。既然单位象元素的灰值是由八个比特 (Bits) 来代表, 其大小区间由零到 255, 所以影象变换法之一乃是调整原始影象灰值幅度, 使得灰值反差变得明显, 而收影象增强 (Image Enhancement) 之效。

单凭肉眼, 人类仅能区分约十层明暗不同的灰值, 但却有较好的分辨色差之能力。为了便利影象诠释者去分辨灰值, 影象处理法之一是用红、绿、蓝三原色不同程度的数种组合, 分别代表不同的灰值, 在彩色终端机荧幕上直接显现出假彩色合成影象<sup>[15]</sup>。因为叶绿素在近红外线波段中辐射力强, 当影象的绿色、红色、近红外线波段分别用蓝、绿、红色模拟显示时, 茂盛或带病害之植物便能在假色画面上, 按可见红色之强弱, 一目了然地观察到。

不同的感测器所产生之某地区多波段影象, 或该地区在不同季节时所摄取的多波段影象, 在资料合并时, 一项不可避免的控制步骤是影象间相互之对准配齐。影象处理目的之一是在确定重叠影象上特征点或特征线之相关性 (Image Correlation) 或共轭性。有了既定的共轭特征, 影象相互间之几何对准转换方可实施。影象灰值之重新调整通常要借重再取样 (Resampling) 演算<sup>[11, 23]</sup>。

其他影象处理技术如利用高频通过滤波器能达到边缘侦测 (Edge Detection) 目的; 如在自动化多波段影象分类法中, 是按统计理论来算定象元的灰值向量间相似性之或然率, 以达到认定象元为某一类别之目的<sup>[1]</sup>。

## 1.2 遥测综合定位

在记录遥感资讯时, 因载体飞行轨迹及姿态随时在改变和因地面高程之差异, 类比或数位影象中辐射性及几何性品质会降低。要改正复原影象品质, 遥感影象本身必须经过理论与方法上较严密之处理。辐射性品质复原包括感测器系统之暗流律定, 和改正大气温度、湿度及气压的路径辐射效应; 在没有实际数据条件下, 可采用略简化之大气行为模式。几何性品质复原必须考虑遥测进行当时之载体外方位参数变化量和测区内的大地起伏资料。

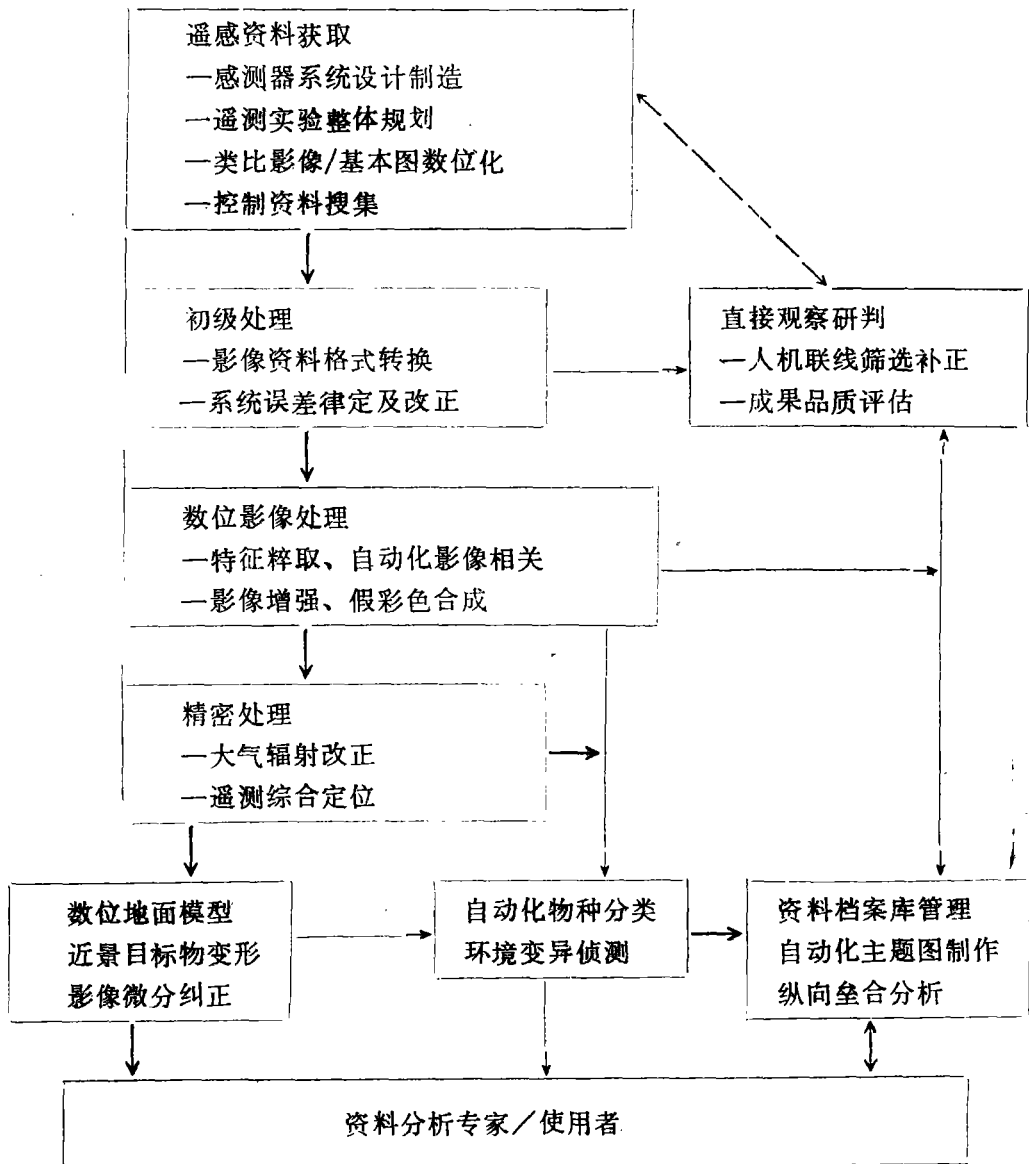
综合定位之几何原理是以两个已知空间位置的测站为基准, 利用前方交会法求得未知点之空间坐标。在测站本身未知的情况下, 得事先按已知坐标的控制点, 利用后方交会法反算出测站的空间位置。当待定点之数量众多时, 遥测综合定位并非每点分别处理, 而是同时合并演算后方交会与前方交会, 以达到同等级的点位坐标精度。

由重叠遥感影象中去平差待定点之平面位置及高程以前, 尚有立体影象间同名点或共轭点辨认的问题待克服。一方面是确保选定之象空间同名点能充分描述物空间的形状特征, 另一方面是提高各影象上同名点相互配对之可靠性。在数位影象尚未普及之前, 共轭点繁冗相配的工作一律由操作员的双眼来担任。如今, 为减轻操作员的工作负担, 在学术界和工业界里, 正已经积极研究发展数位影象相关方法, 以利大量同名点确认之自动化<sup>[21, 23]</sup>。传统式中央投影照相是属静态摄影, 遥测扫描则被视为动态摄影, 这是因为扫描影象是由线型影象一条条并排组成。在每一摄影时刻, 任何一条线型影象都有其各别之感测器空间位置及姿态参数。如分别利用后方交会法反求每一线型影象所属之 (六个) 外方位参数, 实际上不可能有数量如此庞大的控制点可资利用。因此, 在综合定位解析方法中, 便设法建立一组参数模式来合理描述时间性之位置及姿态参数<sup>[2]</sup>。

理论上, 共线 (Collinearity) 条件式代表光线之空间方向。综合定位法的基本数学式子是采用共线方程式, 来描述象面点、投影中心和地面点共处于同一直线之关系。地面控制点

的坐标可在大比例尺地形图上直接辨认和量取。作为控制用的特征除了点外，可以是有规则的几何形状，亦可以是已知的空间距离或方向间之夹角。在遥测实验进行中，若能将随时间而变化之位置与姿态参数记录起来，这份资料也可成为综合定位中之控制参考。然后依据共线函数模式及观测值之协方差模式，便能利用最小二乘法实施空间三角网迭代平差运算。在解得载体位置及姿态参数之同时，求得数位地面模型（Digital Terrain Model）中各待定点之平面位置及高程 [4, 20, 24, 30]。

遥感资讯工作站之普及是因为电脑功能不断地增强。尤其个人电脑体积小速度快，已经能取代约10年前中型电脑之任务。资料贮存及资料分析均由各研究或生产单位之工作站自行承担，不再假借规模较大之电算中心，而成了分别各站管理负责局面。中央大学太空及遥测



遥测工作站功能及运作示意图

研究中心正已筹备之数位摄影测量实验室即是一个典型的遥测工作站；其内各部份之功能要项，见示意图。

## 2 遥测在土木工程上之应用

土木工程在科学技术界占有屹立不摇之地位，不但拥有深厚的传统，且未来的发展潜力亦是无可限量。土木工程专题计如材料力学、钢筋/混凝土结构；土壤力学、基础工程；公路/铁路工程、隧道工程；流体力学、明渠/暗渠工程；筑桥、造坝、建楼房。如进一步连同考虑与土木工程关联密切之水利工程、环境工程和测量工程，则总共所涵盖之学术及应用领域，可谓不胜枚举。以下仅将探讨遥测科技在土木工程上三类应用。

### 2.1 数位地面模型

若对某区域已经实施至少两次以上的遥测，则在摄影位置不同的条件下，可由重叠影象中推算出代表该地区起伏之数位地面模型（见1.2）。因为地面点之平面位置与高程和人类在地表的人文活动息息相关，点位三维坐标颇受到学术界之重视，始终是半个世纪以来热门的研究对象。用数位地面模型可对含有几何扭曲之遥测影象施以微分纠正，即消除掉因地面高低起伏对影象点所产生的位移。纠正的结果称作正射影象（Orthophotos）。使用者能从正射象片上直接量取准确之几何资料，如点到点中间之距离，某两个方向间之水平夹角，和某特定范围之正射投影面积<sup>[24, 25]</sup>。

在公路/铁路工程或在进水/排水管道工程中进行选线（Routing）时，数位地面模型是不可缺少之参考档案。为规划工程和编列预算，需要考虑开挖隧道及填土筑桥之施工量。有了准确的地面模型后，可应用适当之电脑辅助设计（Computer-Aided Design）系统，计算并比较多条可能路线的土方量及砂石、钢筋等材料量。站在工程观点上，预先选择出工程量较少的和费用低廉的若干路线。再进一步可跟经济效益和国防措施等因素配合，以利最佳路线之决选。

在两个不同的时期，对同一地区所推演出之数位地面模型，因为两套模型均归属在特定参考坐标系内，便可直接应用它们来互相比较，进行变异侦测（Change Detection）。变异数据能提供水土保持专家一份研判档案，其内载有详尽变异地点和变异总体积。在探讨肇因时：或是地表树木和植物遭到滥伐，而导致水土流失？亦或是土壤结构疏松，极易发生土崩塌陷之现象？象这类改变率高的地段，可与施工经费等因素共同评估，来确定该地段做施工场所之适合性<sup>[12]</sup>。

按〔20〕记载，在航高为3050m，测区地势平坦，转镜式扫描器之瞬间视场为2.5mrad的情形下，重叠三次之空载立体扫描影象被应用来推算数位地面模型。根据他们的参数平差定位法，共引用了45个控制点。53个检核点上之平面位置中误差及高程中误差分别是 $\pm 2.0$ 象元， $\pm 1.8$ 象元及 $\pm 4.8$ 象元。

以陆地卫星（Landsat）为载体的一对重叠扫描影象作几何分析例，依〔8〕所述之解析模型校正法，在基线航高比是0.11条件下，用10个控制点和39个检核点时，计算到地面模型平面位置中误差为 $\pm 70$ m和 $\pm 67$ m，高程中误差是 $\pm 83$ m（地面象元等于79m）。

若以SPOT卫星遥测得到之地面象元是10m的立体影象对为演算例，〔4〕利用光束

法，在基线航高比为0.57和控制点为数28情况下，由22个检核点测知平面位置中误差是 $\pm 7.4\text{m}$ 及 $\pm 3.9\text{m}$ ，高程中误差为 $\pm 7.7\text{m}$ 。地面高程差异对卫星遥测的影响不大，加上卫星轨道稳定还有姿态变化都能以函数式描述，所以卫星影象的几何变形量小。经验已显示，当用立体扫描影象推导数位地形时，由卫星影象获得之高程定位精度要比空载影象之高程精度高上四到五倍。

## 2.2 近景目标物变形

就较广大地区之遥测而言，感测器之载体几乎千篇一律是飞机或人造卫星。当遥测科技应用在地面/近景摄影测量 (Terrestrial/Close-range Photogrammetry) 时，所观测的目标物范围有限，载体的问题不复存在。近景摄影所采用之感测器是传统式中央投影摄影机，摄影站仅是摆在固定之支架上。按设定好之光圈和足够的曝光时间，便可得到有意义的信号杂讯比，而在瞬间内完成二维之影象获取。既然摄影站位置及转动姿态固定，在近景应用上，随时间而变化之位置及姿态问题也即消失。至于重叠影象中同名点之相配和应用综合定位法推求物体上待定点之三维坐标，均可完全比照传统航空摄影测量之处理方法。只是航测中的数位地面模型被用来表示近景物体表面之凹凸起伏。相对于摄影站到物空间之距离，近景目标物的远近距离差异显得较大，而且立体摄影互相间常呈倾斜状态，象片上遮蔽情况颇为严重，这些因素使得影象相关工作很不容易达到自动化。

近景摄影测量科技被直接地应用在工程结构物之精密变形侦测是不言而喻的。根据两个不同时期之立体影象，可分别算得变形前与变形后之目标物外形。两者相较之下，便可定出物表特征点之几何位置变异量。依〔18〕所报导之核子反应器锅炉变形试验，当温度由摄氏 $23^\circ$ 升至 $260^\circ$ 时，预估的变形量会高达 $50\text{mm}$ ，而摄影测量之精确度是 $\pm 0.3\text{mm}$ （照相机焦距为 $100\text{mm}$ ，拍照距离在4米外）。用近景摄影方法进行变异侦测是既可靠且精确的。其他文献例子如对高楼或对预制桥梁<sup>〔9, 27〕</sup>，乃是将用近景量测所得到之外形与设计标准尺寸比较，以利施工品质之评估。对中央投影二维影象来说，定点的几何精确度取决于摄影站到目标物之距离，亦取决于立体影象间水平（左右）方向和垂直（上下）方向重叠量之大小；通常，精确度可达 $0.01-0.2\%$ （站到物之距离），参见〔24, 22〕。

近景类比或数位摄影能将（如应变试验）载重物在各个阶段之几何变形以二维影象完整地保留下来。该影象与计算得之三维移位数据皆成为永久之资料档案，供查阅和重复验算用。直接获取数位影象配上电脑运算效率之增强已促使学术研究正加紧发展即时（Real-time）性资料处理系统。目标物变形乃至变形率能即刻显示在实验分析者眼前，以利争取时效，例如现场实验装配之改善等<sup>〔29〕</sup>。

## 2.3 自然和人文环境监视

飞机或人造卫星遥测能确切地对数百平方公里的大环境提供一个整体观。在有限的时段内，高空摄影或扫描便将地表细部记录下来。利用多波段影象而自动分类过的地物（如植被）给环境调查工作增添一份有价值的季节性评估资料。若能将某环境内一系列不同时间的遥测影象做比较分析，便可有效地掌握该环境之变迁。在环境保护工作里，已无疑地指认遭到破坏地段，可替维护人员节省不少搜索人力和物力。至于改变自然或人文环境品质之污染物，可直接赴现场，抽样后做定性化验以了解地面真象（Ground Truth）。为争取时效最好

是能预先得知某污损地区，然后用遥测配合着地面真象来进行个案侦测。为提高空间解析力，一般习采用空载多波谱扫描仪来获取资料。

以河川或近海岸污染为例，透过地面真象认识了污染属性，另外由多波段影象分类法将污染范围的边界侦测出来；两者一合并，便可迅速算定受某类污染的详实面积大小，甚至污染程度的轻重，亦可同时列入研究调查项目。此外，根据多次不同时刻的遥测系列，更得以掌握污染扩散之急缓，即污染区域变化与时间之函数关系。

近海水温热红外线遥测是 [19] 曾说明之环境监视例。某发电厂引用海水为冷却用途，排出的加温水藉潮汐来冲散。空载多波段扫描的同时，地面真象是由船侧取水，并用温度计量测该水域剖面之海水温度。热红外线影象得先经过律定之系统误差修正。实测水温与遥测水温相差摄氏  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 。按多项式温差校正或大气反射改正法，两者均得到  $\pm 0.2^{\circ}$  之绝对精度。最后成果是供环境评估用之海温分布（主题）影象图。

空气污染如工业废气中之硫化物等已成为树木枯死之祸因。[13] 曾记载他本国有三分之一强之林地遭到损害，尤其按每年春秋两季实地勘查得知，在1980到1983年间受摧残之枫树自33%急升到98%。由空载多波段影象分析中发现到约70树龄之健康或受害之赤松，在可见光或红外线波段上之反射特性大相迥异。兼顾环境保护法规要求，发展更好的多波谱分类法方能做到环境（森林）破坏普查，以利及早监测和有效防治。

自然环境保护是大区域性和持续性工作，以人造卫星为观测站之遥测是势在必行。与太阳同步之地球资源卫星如美国之陆地卫星（Landsat 4,5）及法国为首之 SPOT 系列正不断地提供给人类宝贵的遥感资讯，作为有系统的环境评估依据 [20,6]。

### 3 討 论

遥测科技目前正发展波谱解析力强（ $0.01\mu\text{m}$  以下）之光谱仪，以期对微细差异的物体辐射性质亦能充分掌握。当波段极狭窄时，信号杂讯比将不易有效地控制。尤其以人造卫星为遥测站时，待侦测之能量受到大气吸收而转变微弱，甚至被杂讯掩盖，所以光谱仪的应用尚停留在以飞机为载体之阶段 [20]。

在太阳同步卫星遥测方面，因卫星轨道高度在800公里上下，目前能获得的空间解析力是10m—20m（SPOT/High Resolution Visible）和30m（Landsat/Thematic Mapper），遥影测象多适用在不大于五万分之一比例尺象片图制作。90年代初期的遥测感测器将朝着5m空间解析力目标迈进。这意味着CCD象元素大小，感测器焦距，卫星附件总重量，数位影象记录容量及数位资讯电磁波传输速率等许多因素的整体配合，以臻最佳设计。

遥感探测的限制是它无法穿透受测物体（除侧视雷达波有约1米的地面穿透力外），仅是感测实际表面现象，如树木顶或高楼顶而不是地面。只有在目标物本身高度或其估计概略值已知条件下，才能改正物顶与地面之差异。因为摄影站空间位置不同及目标物表面呈高低起伏，遥测影象上常见阴影和被遮蔽处。在规划遥测实验时，便应将阴影及遮蔽因素考虑在内；可额外增加不同位置之观测来减低遮盖隐蔽现象。多波谱扫描影象，不同感测器之影象或不同季节的遥感资讯，乃至所有的后续应用成果如数位地面模型和变异侦测等，均可视为不同的资料层次来一并处理；由不同层次的组合可表达不同的主题。不论是影象式或向量式资料，一旦经过一个资料库管理系统筛选和纵向整合后，必能更吻合使用者的需求，而促进

研判分析之效益。

## 4 结 论

当遥感探测科技被用在侦测地表物体之几何形状及辐射特性时，与土木工程应用有关的特点是：

— 不接触目标物。就不易直接抵达的地区而言，遥测是仅存的方法。又如在材料载重变形试验中，不适合与试验物做额外的接触而引进未知的外力，或因为安全因素的考虑，远景摄影能在数米以外，精密测量到细部变形量。

— 在有限的时段内，获得完整的二维影象纪录。必要时，很容易在影象上进行重测，甚至补测。

— 数位式遥测影象，便利电脑数据处理。立体重叠影象可用来推导三维数位模型，待定点的数量可随意增多，使得模型能无限制地逼近实物。

— 若欲提高遥测精度，可以缩短摄影机和目标实物间之距离。但是因为象比例尺变大，影象涵盖的面积便相对地减少。

— 按多波段遥感资讯，地物类别之区分可自动化。

— 按不同时间的遥测影象进行变异侦测。物空间之几何及辐射方面之变化（率）成为环境监视及管理之凭据。

遥测科技先由观察现状，经精密处理转而获得有价值之资讯情报。该资情之研判因应措施乃至回馈得仰仗其他相关学域的专家配合参与，方能使遥测应用之潜能充分发挥。遥测技术并不取代在土木工程领域内已经建立良久之计量方法，而是基于需求关系额外地扮演“工具”的角色。两类学术在互用时能否完全合作无间，有待土木界和遥测界学者专家同心协力建立起一条畅通无阻之科际管道。

## 参 考 文 献

- [1] 王之卓。摄影测量原理续编。测绘出版社，1986。
- [2] 吴 究。立体式三行扫描器影象之几何处理。第七届测量学术及应用研讨会论文集，1988：85~93。
- [3] 陈乃宇。多谱扫描影象几何与辐射特性分析。博士论文，中央大学，1988。
- [4] 陈良健，李良辉，李松钊。SPOT 卫星影象自动化产生数值地型之研究。第七届测量学术及应用研讨会论文集，1988：41~53。
- [5] 刘进金，袁文忠，郑文哲。台湾侧视雷达影象的特征。1982，矿冶 26 (1)：75~87。
- [6] Chevrel M, Courtois M, Wejll G. The SPOT Satellite Remote Sensing Mission. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1981, 47 (8)：1163~1171。
- [7] Colvocoresses A P. ERTS-A Satellite Imagery. Photogrammetric Engineering, 1970, 36(6)：555~560。
- [8] Dowman I J, Mohammad M A. Photogrammetric Applications of Landsat MSS Imagery. International Archives of Photogrammetry, 1980, 23(B3)：158~167。



- [ 9 ] Ethrog U. Measuring Deformations of a Multi-storey Building with a Non-metric Camera. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1984, 25(A5): 683~689.
- [10] Fraser C S, Gruendig L. The Analysis of Photogrammetric Deformation Measurements on Turtle Mountain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1985, 51(2): 207~216.
- [11] Goshtasby A. Registration of Images with Geometric Distortions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1988, 26(1): 60~64.
- [12] Heath W, Dowling J W F. Examples of the Use of Terrestrial Photogrammetry in Highway Engineering. *International Archives of Photogrammetry*, 1980, 23(B5): 308~320.
- [13] Hildebrandt G. Aspects of Countrywide Inventory and Monitoring of Actual Forest Damages in Germany. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1984, 25(A7): 246~267.
- [14] Hofmann O, Seige P. Erste Erprobungsergebnisse mit der Experimentellen Optoelektronischen Kamera von MBB, *Bildmessung und Luftbildwesen*, 1979, 47(2): 33~40.
- [15] Holdermann F, Bohner M, Bargel B, Kazmierczak H. Review of Automatic Image Processing. *Photogrammetria*, 1978, 34: 225~258.
- [16] Konecny G. Photogrammetrische Verfahren zur Auswertung von Satellitenbildern des Mondes. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 1974, Heft 4: 122~141.
- [17] Konecny G. Approach and Status of Geometric Restitution for Remote Sensing Imagery. *Bildmessung und Luftbildwesen, Special English Edition*, 1975: 52~62.
- [18] Kraus K. Modern Photogrammetric Technology Focusing Civil Engineering. *Photogrammetria*, 1986, 41: 31~41.
- [19] Lohmann P. Thermal Mapping of Coastal Waters. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1984, 25(A7): 303~314.
- [20] McGlone J C, Mikhail E M. Photogrammetric Analysis of Aircraft Multispectral Scanner Data. Technical Report CE-PH-81-3, Purdue University, 1981.
- [21] Pertl A. Digital Image Correlation with the Analytical Plotter Planicomp C 100. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1984, 25(A3b): 874~882.
- [22] Petrie G. Some Considerations Regarding Mapping from Earth Satellites. *Photogrammetric Record*, 1970, 6(36): 590~624.
- [23] Rosenholm D. Multi-Point Matching Using the Least-Squares Technique for Evaluation of Three-Dimensional Models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1987, 53(6): 621~626.
- [24] Schwidersky K, Ackermann F. *Photogrammetrie*. B. G. Teubner Stuttgart, ISBN 3-519-13401-2, 1976.

- [25] Slama C C (Ed. ). Manual of Photogrammetry. American Society of Photogrammetry, Virginia, ISBN 0-937294-01-2, 1980.
- [26] Vane G, Goetz A F H. Terrestrial Imaging Spectroscopy: Remote Sensing of Environment, 1988, 24: 1~29.
- [27] Veress S A. Photogrammetry for Dimensional Control of Bridges. International Archives of Photogrammetry, 1980, 23(B5): 746~754.
- [28] Webb W, Watt W M. The Landsat-5 System: Description and Preliminary Assessment. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984, 25(A2): 506~532.
- [29] Wong K W, Lew M, Wiley A G. 3-D Metric Vision for Engineering Construction. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1988, 27 (B5): 647~656.
- [30] Wu J. Investigation of Simulated MEOSS-Imagery for Sensor Navigation and Terrain Derivation. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1986, 26(1): 279~284.

## Application of Remote Sensing for Investigation in Civil Engineering

*Wu Jiu*

### Abstract

Remote sensing technique can be used to determine geometric forms and radiometric properties of terrestrial objects, without coming into physical contact with the objects. Two main topics are treated: (1) Digital image processing with radiometric data, as image enhancement and automated image correlation etc., (2) Combined point positioning in geometric aspect. By using least squares technique, all unknown parameters are adjusted simultaneously, they are positions and attitudes at exposure stations and 3-dimensional coordinates of points in a digital (terrain) model. Data processings are frequently done at workstations. After an introduction of digital image processing and combined positioning with remotely sensed data, applications of the remote sensing technique to the field of civil engineering are explained together with examples: (1) Digital terrain model can be used for routings and volume calculations of earth. (2) Deformation of close-range objects can be determined with precision having 0.09% of camera-to-object distance. (3) Environmental monitoring is vital for the measures that protect environments over a large area. Painstaking ground-truth is needed to find out true causes for polluted areas. Before conclusions are drawn, endeavors made at improving resolutions of remote sensing and the necessity of data management are addressed.