

基于数据库的影像数据管理技术研究^{*}

朱铁稳¹ 常磊¹ 李琦¹ 苗前军²

(北京大学遥感与GIS研究所 北京100871)¹ (黑龙江省测绘局 哈尔滨150086)²

摘要 数据库技术在“结构”性数据的管理中起到了十分重要的作用,把这种方便、高效的机制用于影像数据(如遥感数据和航空摄影数据等)这类“非结构”性数据的管理,由于影像数据的海量性和数据关系的复杂性,目前还存在许多困难。本文在充分分析影像数据具体特点的前提下,提出了一种对影像数据进行数据库管理的系统体系结构。我们开发的运行系统表明,利用该方法对遥感影像进行管理,可以在网络环境下,达到对超过500GB的遥感影像进行快速查询和快速访问的目的。

关键词 影像数据,数据库技术,数据存储,影像发布

Research on Database-Based Management Technology for Image Data

ZHU Tie-Wen¹ CHANG Lei¹ LI Qi¹ MIAO Qian-Jun²

(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871)¹ (Heilongjiang Bureau of Surveying and Mapping, Harbin 150086)²

Abstract Database technology has been important tool for managing structural data. Using this expedient and high-efficient method on non-structural imaging data, such as remote sensing data and aerial photography data, there are many difficulties which are caused by large magnitude and complex of imaging data. In this paper, we put forward a schema for managing imaging data under analyzing imaging data characteristics. The working result of imaging database system we have developed shows, using this method on imaging data, that we can implement fast query and fast browse for over 500 GB imaging data through Internet.

Keywords Imaging data, Database technologies, Data storage, Imaging data release

1 引言

数据库技术已经渗透到现代社会和我们生活的方方面面,它是一个服务于核心目标数据的有组织的集合。数据库技术在数据管理中的地位越来越重要,它能方便地对数据进行添加、删除、更新、查询、检索等操作。一般来讲,数据库中的数据采用一种结构化的方式被存储与显示,目前常用也是最为成熟的是关系数据库管理系统(Relational Database Management, RDBMS)^[1]。但RDBMS只能处理简单数据类型,如整数、浮点数、字符串等,不能处理有复杂结构和复杂语义的空间数据;不适合存储、检索空间数据;也不支持几何应用所需要的操作。因而,RDBMS往往不能满足处理空间对象的需要,也不能管理影像数据,为了管理空间数据的需要,研究者们想在RDBMS基础上,扩充它对空间数据的管理能力,我们把这种满足特殊需求的数据库系统叫做空间数据库管理系统(Spatial Database Management, SDBMS)^[2]。

SDBMS首先是一个数据库系统,它应该支持特殊的空间数据模型,如三维空间对象、航空影像、遥感数据等等。但目前的数据库系统对影像数据的支持有限,还存在着许多需要研究的问题。例如,如何有效地存储影像数据以便于对影像数据的操作,如何从海量影像数据中查询与检索出所需要的信息^[3,4]并进行快速浏览等等。本文在充分分析影像数据具体特点的前提下,提出了一种对影像数据进行数据库管理的系统体系结构,并把它应用于我们863项目所要求的遥感影像库系

统。系统运行表明,利用该方法对遥感影像进行管理,可以在网络环境下,达到对超过500GB的遥感影像进行快速查询和快速访问的目的,能满足实用的要求。

本文第2部分介绍了当前影像数据管理所面对的主要问题,第3部分研究了影像数据的数据库管理方法,第4部分研究了影像数据的渐近搜索算法,最后对我们开发的影像数据库系统作了一个介绍。

2 当前影像数据管理中遇到的困难

影像数据的最主要特点是它的数据量巨大,往往都是数百GB或数十个TB的数据量,遥感影像应用系统的开发涉及数据的获取、加工、存储、分发、应用等诸多环节。由于受目前硬件条件、网络带宽等方面的限制,大大限制了影像数据的应用范围。虽然利用数据库管理“结构”性数据有它无可比拟的优越性,但如何管理影像这种“非结构”数据还需要花大力气进行研究。最主要的困难在于海量影像数据的存储、查询索引结构的建立、海量数据的传输与网络带宽限制等几个方面,即数据的管理和发布。

海量影像数据的存储虽然随着大容量存储设备的进步有所缓解,但影像数据的存储不只是把数据放入一个可以记录的载体。我们使用数据的目的是为了得到信息,因此,利用数据库系统管理影像数据,存储模式必须考虑影像数据的浏览、查询和信息提取等操作;由于影像数据的海量性,还必须考虑计算机的I/O效率。当前的数据库技术虽然支持抽象数据类

^{*} 基金项目:国家863课题“基于SIG框架的数字城市服务系统与示范”(编号:2002AA134030)基金资助和中国博士后基金支持。朱铁稳 教授,博士后,主要研究领域为遥感影像处理,地理信息系统与数据库技术,空间信息科学等;常磊 硕士,研究方向为空间数据库等;李琦 教授,博导,研究领域为空间信息科学,数字地球、数字城市理论等;苗前军 博士,主要研究领域为测绘、地理信息工程等。

型和 BLOB 类型,可以扩展成为空间数据库系统用于管理影像数据,但当数据量大到某个量值时,它的使用很难满足实际应用系统的要求。

对于影像数据的索引结构,已有许多研究,如文[5~9]。但目前用于数据库系统使用的、较为成熟的只有 B-树索引^[10,11]和 R-树索引^[12,13]。影像数据的数据库管理,还必须研究新的索引结构解决高效性和实用性问题。

遥感影像库的应用环境是一个典型的分布式系统。影像的发布主要指基于 Internet 的发布,影像的发布和数据组织有密切的关系。发布的效果与数据的压缩效率和网络的传输带宽也有直接的关系。虽然网络的传输带宽随着技术的进步有较大的发展,但可以肯定的是,网络带宽的增长速度远远跟不上数据的增长速度。所以必须在研究数据的组织结构的同时,研究数据的压缩算法和数据传输策略。

3 影像数据的数据库管理方法

影像数据的组织策略对影像数据的应用具有十分重要的意义。为了利用数据库系统管理影像数据,主要有两种方法^[14]:(1)以空间换取时间,化整为零;(2)以高效的算法换取时间和空间。以空间换取时间的策略,需要对影像进行纵横两方面的预处理,建立影像数据的分层管理,即存储基于原始影像的多种分辨率影像。高效算法主要是指影像数据的大压缩比压缩算法,数据压缩对数据的组织和发布都是非常关键的。小波理论^[15]的发展和 JPEG2000 标准^[16]对解决这个难题有重要的帮助。一般来讲,普通的 JPEG 影像通常只能压缩10倍左右,利用小波压缩则可以达到100倍。小波压缩还有一个重要特点:影像解压时可以按照不同的分辨率实现局部解压,无需读入整个影像,仅需读入影像文件特定位置的一段数据流即可。

3.1 多分辨率影像的抽取算法

以空间换时间的策略是利用金字塔结构对影像数据进行预处理。为了建立基于原始影像的多分辨率影像库,我们要对原始影像进行处理。通过适当的抽取方法,得到多个分辨率影像,这个抽取算法的主要思路是:为了处理的方便,我们假定原始影像的大小是 $2^n \times 2^n$ 像素,并把它叫做第0层,对第0层采用隔点隔行的抽取方法得到它的较低分辨率影像,把它叫做第1层;对第1层重复上面的步骤,得到第2层影像,继续这个过程,直到满足所需要的分辨率为止。图1显示了一个 8×8 影像的2层抽取。

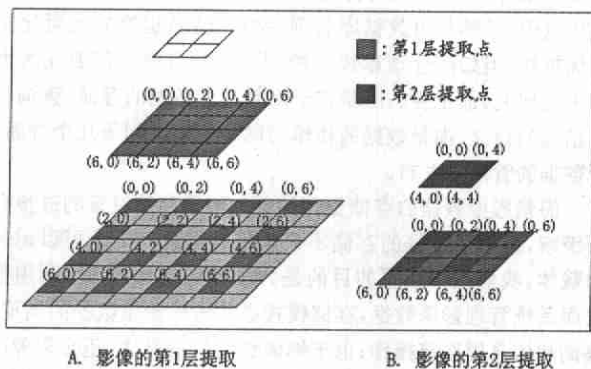


图1 多分辨率影像数据分层提取(8×8)

实际上,对大小为 $2^n \times 2^n$ 像素的原始影像,如果用 (i, j)

$(i, j$ 为整数, $0 \leq i, j \leq 2^{n-1}$) 表示它的像素点,则第1层影像是由原始影像像素为 $(2i, 2j)$ (i, j 为整数, $0 \leq i, j \leq 2^{n-2}$) 像素点组成;第2层影像是由原始影像像素为 $(2^2i, 2^2j)$ (i, j 为整数, $0 \leq i, j \leq 2^{n-3}$) 的像素点组成;……,第 k 层影像是由原始影像像素为 $(2^k i, 2^k j)$ (i, j 为整数, $0 \leq i, j \leq 2^{n-k}$) 的像素点组成。

影像数据的管理,涉及成果影像和应用影像,成果影像来自生产部门,应用影像主要供网上发布。对两类数据的管理,采用的管理策略是不一样的。利用小波压缩的特点和金字塔结构的优点,我们提出一种改进的金字塔方案。改进金字塔方案的具体思路是:第一步先行对成果影像进行小波压缩;第二步对压缩后的影像进行重采样、切割分块构建传统的金字塔结构;第三步把分块后的影像存储于数据库系统的 BLOB 字段中。这种改进的金字塔方案,实际上是二层金字塔结构,第一层是利用小波特性的虚拟金字塔,第二层是传统意义的金字塔,这种结构不失为影像数据管理的一种好的方法。这种方法能够极大地增加分块中块的大小,又能满足对数据快速访问的要求。

3.2 影像的数据库管理策略

用数据库系统管理影像数据,需要把数据存入数据库系统,我们把影像数据的分块影像存入数据库系统提供的大对象 BLOB 字段中,在确定的分辨率下,每个分块作为一条记录。因此,建立存储的三个关系表,如图2所示。

- 原始影像表:它包含原始影像的相关信息,如影像的标示 ID,影像的经纬度坐标,产生的日期等等;这些信息用于最初基于位置、日期和分辨率检索时,缩小搜索范围。
- 分层对象(块)表:它包括分辨率层的层次标示,分块影像标示,以及分块影像对象等等。一般把原始影像规定为第0层,层次越高,分辨率越低。分层对象表通过影像 ID 与影像表相关联。
- 属性特征表:它记录影像的特征信息,如纹理,颜色等内容。它通过层次 ID 与对象(块)ID 与分层对象表相联系。

这种体系结构,既考虑了实际应用对影像多分辨率的要求,又考虑了数据库本身的技术要求和计算机系统的 I/O 效率。利用数据库系统管理数据的高效性,达到对影像数据进行有效管理的目的。

4 影像渐近搜索算法

基于影像的应用,绝大多数都需要从影像数据库中找出应用需要的有用信息,这涉及到影像的检索。当用户通过指定某个对象(分块影像或分块影像的一部分)或对象特征时,应该能够根据对象或对象特征提取出所期望的信息,因此,影像的搜索算法研究是非常关键的,在众多的搜索算法研究中,渐近搜索算法具有重要地位,我们研发的系统中所采用的是渐近模板匹配法和影像分类法^[17]。

4.1 模板匹配(template matching)^[18]

模板匹配是在像素点的层次上抽取内容,当指定示例影像时,它检索精确包含(或近似包含)用户指定的示例影像的影像,因而模板匹配需要逐点比较示例影像。实际上,由于影像噪声、量化影响以及影像本身的误差,影像的精确匹配是十分稀少的。例如,在卫星遥感影像中,仅仅由于季节的变化而导致的影像误差就使得匹配过程非常困难,因此,匹配往往只是近似的。

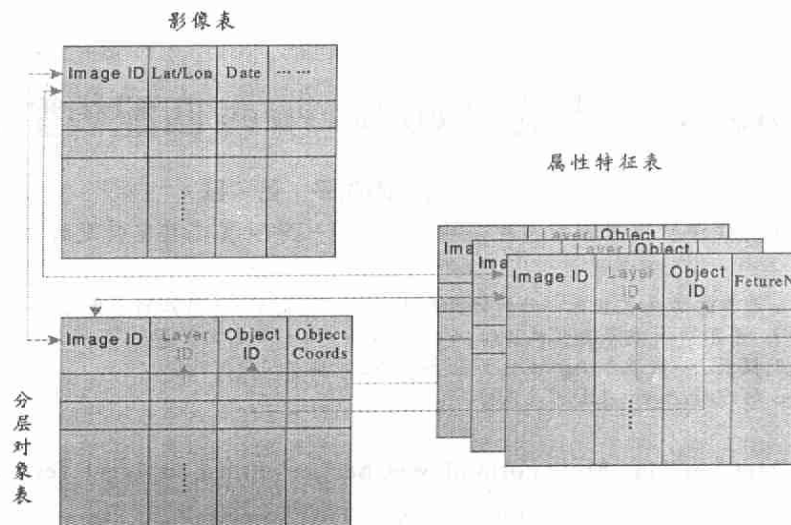


图2 数据库结构体系

设 $S=f(x,y)$ 是一幅大小为 $\Delta x \times \Delta y$ 的影像, 模板影像 $T=g(x,y)$ 也是大小为 $\Delta x \times \Delta y$ 的影像, 我们可以定义 S 与 T 之间的距离函数

$$\iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} [f(x,y) - g(x,y)]^2 dx dy$$

显然, 当上式的结果最小时的影像 S 就是模板 T 的最佳匹配影像。由于

$$\begin{aligned} \iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} [f(x,y) - g(x,y)]^2 dx dy &= \iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} f^2(x,y) dx dy \\ &+ \iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} g^2(x,y) dx dy - 2 \iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} f(x,y)g(x,y) dx dy \end{aligned}$$

中 $\iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} f^2(x,y) dx dy$ 和 $\iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} g^2(x,y) dx dy$ 对两个确定的影像 S 和 T 来说是常数, 因而也可以说, 当 $\iint_{\substack{0 \leq x < \Delta x \\ 0 \leq y < \Delta y}} f(x,y)g(x,y) dx dy$ 的结果最大时 S 就是 T 的最佳匹配影像。在离散的情况下, 影像 S 与模板 T 之间的相关系数可以采用相关系数的计算公式:

$$\rho_{(m,n)} = \left[\frac{\sum_{i=0}^{\Delta x} \sum_{j=0}^{\Delta y} (T_{(i,j)} - \bar{T})(S_{(m+i,n+j)} - \overline{S_{(m,n)}})}{\left[\sum_{i=0}^{\Delta x} \sum_{j=0}^{\Delta y} (T_{(i,j)} - \bar{T})^2 \sum_{i=0}^{\Delta x} \sum_{j=0}^{\Delta y} (S_{(m+i,n+j)} - \overline{S_{(m,n)}})^2 \right]^{-\frac{1}{2}}}$$

这里, $\overline{S_{(m,n)}} = \sum_{i=0}^{\Delta x} \sum_{j=0}^{\Delta y} S_{(m+i,n+j)} / \Delta x \Delta y$, $S_{(m,n)} = S_{(m,n)}(\Delta x, \Delta y)$ 是开始于 (m,n) 点且大小为 $\Delta x \times \Delta y$ 的子影像。

渐近模板匹配的思路是首先计算低分辨率影像的相关系数, 然后利用局部最大的方法来逐渐提高相关系数的精度, 它能极大地减少计算复杂度^[19]。

4.2 分类(classification)

对海量影像数据, 根据影像特征进行适当分类, 能够极大地加速影像的查询、检索操作。分类过程实际上是对影像的特殊像素或不同区域指定标示的过程^[20]。假定多分辨率影像的最高层(分辨率最低)为第 N 层, 最低层(分辨率最高)为第 0 层, 第 N 层上的一个 1×1 的分块则对应着第 0 层的一个 $2^N \times 2^N$ 的像素块。渐近分类算法的流程框图和相邻两层分类如图 3 所示。在第 L 层, 对每个分块给定一个标示(系数) K , 判定标示 K 对应的下一级分辨率影像的分块是否一致, 如果一致, 影像的这些分块都标示 K , 如果不一致, 则把它分成 4 块, 产生 4 个标示, 继续对这 4 个标示重复前面的过程, 直到检测到所有的块都是一致的, 或者达到了它的最大分辨率。如图 3 右侧考虑的例子, 在第 L 层, 我们考虑 4 个像素, 标示为 1 和 3 的块影像是一致的, 我们分别把 1 和 3 对应的下一层子块给定为同一个标示(各 4 个), 标示为 2 和 4 的块影像是 不一致的, 我们在第 $L-1$ 层继续对相应的 8 个子块继续讨论。

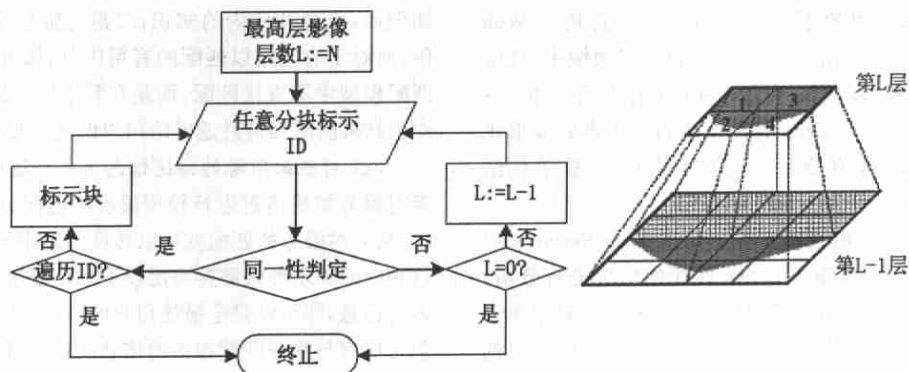


图3 渐近分类算法流程图和相邻两层分类实例

因为我们所考虑的大多数影像, 相邻像素点之间具有很

(下转第 115 页)

Communication, 2003, 18(4): 297~307

- 30 Kim B S, Choi J C, Park C H, et al. Robust digital image watermarking method against geometrical attacks [J]. Real-Time Imaging, 2003, 9(4): 139~149
- 31 Hernandez J R, Perez-Gonzalez F. Statistical analysis of watermarking schemes for copyright protection of images [J]. In: Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1142~1166
- 32 Tsekeridou S, Solachidis V, Nikolaidis N, Nikolaidis A, Tefas A, Pitas I. Statistical analysis of a watermarking system based on

Bernoulli chaotic sequences [J]. Signal Processing, 2001, 81(6): 1273~1293

- 33 Nikolaidis A, Pitas I. Asymptotically optimal detection for additive watermarking in the DCT and DWT domains [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(5): 563~571
- 34 Fotopoulou V, Skodras A N. Improved watermark detection based on similarity diagrams [J]. Signal Processing: Image Communication, 2002, 17(4): 337~345

(上接第97页)

强的相关性,较低分辨率对应的标示大部分在较高分辨率的对应块下都是一致的,所以较之在完全分辨率下的逐点讨论,这种方法有两个优点:快捷和精确。

5 实验验证

根据国家863项目“基于 SIG 框架的数字城市服务系统与示范”的研究需要,依据我们的研究成果,我们开发了一个北京市综合遥感影像数据库系统。系统需要达到的目标是:要对多数据源、多分辨率、多时相的空间数据进行有效的管理,实现对影像数据和相应的元数据进行高效的管理和检索,达到方便的存储管理和分发服务的目的;能够管理多比例尺、多分辨率、多数据源的遥感影像,实现影像的高效检索;由全貌到细节、由整体到局部、由低分辨率到高分辨率快速无缝地进行影像漫游和浏览;并且能够与其它系统集成,为其它应用服务。系统运行的其中一个界面如下。

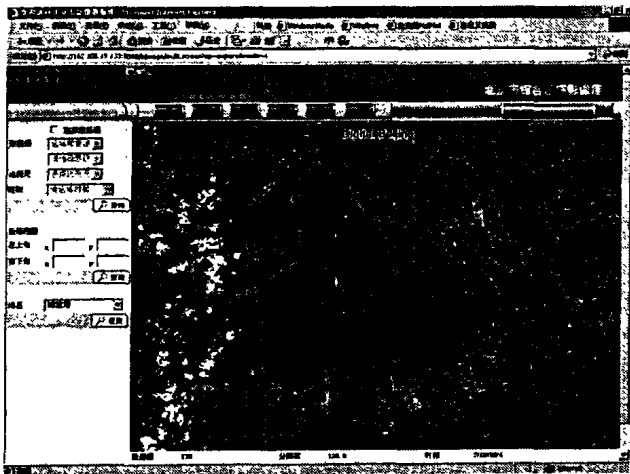


图4 遥感影像数据库系统界面

系统运行情况表明:我们的理论能够建立完善的空间数据管理和运行机制,实现对在线、近线、离线数据的科学管理;提供方便的数据管理和维护工具,使数据管理者可以方便地对海量影像数据进行管理和维护;提供快捷方便的数据检索机制,实现网上数据检索、浏览和应用;可以方便地实现多源空间数据的集成;建立良好的数据服务体系,为社会各个部门提供良好的应用服务。

结束语 利用数据库技术管理影像数据是影像数据管理的发展方向之一,它能充分利用数据库系统的高效性和有效性。由于影像数据自身的特点,目前用数据库系统来管理海量的影像数据还存在许多困难。在本文中,作者提出了适用于数据库管理的影像数据分块方法,多分辨率影像的提取策略和影像的数据库管理结构,即改进的金字塔方案,以及影像的渐进搜索算法。研究成果已在国家863项目“基于 SIG 框架的数字城市服务系统与示范”中得到实现与验证。但研究还只是初

步的,我们将对利用数据库管理影像数据技术进行深入的研究。

参考文献

- Henry A S, Korth F, Sudarshan S. Database System Concepts. Third edition. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Güeting R H. An Introduction to Spatial Database Systems. Special Issue on Spatial Database Systems of the VLDB Journal, 1994, 3(4)
- Flickner M, et al. Query by image content: The QBIC system. IEEE Computer, 1995, (9): 23~31
- MacCuish J, McPherson A, et al. Interactive layout mechanisms for image database retrieval. In: Proc. of SPIE/IS&T Conf. on Visual Data Exploration and Analysis III, San Jose, CA, 1996, 2656: 104~115
- Armitage P A, Bastin M E. Selecting an appropriate anisotropy index for displaying diffusion tensor imaging data with improved contrast and sensitivity. Magn Reson Med, 2000, 44: 117~121
- Sakurai Y, Yoshikawa M, Uemura S, Kojima H. The A-tree: An Index Structure for High-Dimensional Spaces Using Relative Approximation. In: Proc. of the 26th Intl. Conf. on Very Large Data Bases (VLDB), Cairo, 2000(9): 516~526
- Niu Youping, Tamer Ozs M, Li Xiaobo. 2-D-S Tree: An Index Structure for Content-Based Retrieval of Images. In: SPIE Conf. on Multimedia Computing and Networking, San Jose, CA, USA, Jan. 1999
- Chakrabarti K, Mehrotra S. The hybrid tree: An index structure for high dimensional feature spaces. In: Proc. Int. Conf. on Data Engineering, 1999(2): 440~447
- Kurniawati R, Jin J S, Shepherd J A. The SS+-tree: An improved index structure for similarity searches in a high-dimensional feature space. In: Proc. of SPIE/IS&T Conf. on Storage and Retrieval for Image and Video Databases V, San Jose, CA, 1997, 3022: 110~120
- Graefe G, Larson P-K. B-Tree Indexes and CPU Caches. ICDE, 2001. 349~358
- Distasi R, Nappi M, Vitulano S. Image compression by B-tree triangular coding. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45(9): 1095~1100
- Saltenis S, Jensen C. R-Tree Based Indexing of General Spatio-Temporal Data. TimeCenter: [Tech-Report, TR-45]. 1999
- Horinokuchi H, Kuroki S, Makinouchi A. Design and implementation of R*-tree for spatiotemporal index. In: Proc. IPSJ Symposium on Information Systems and Technologies for Network Society, 1997(9): 199~202
- 常磊. 面向数字城市的遥感影像数据库及发布系统的设计与实现. 北京: [北京大学硕士学位论文]. 2003
- 耿则勋. 小波变换理论及在遥感影像压缩中的应用. 北京: 测绘出版社, 2002
- Taubman D S, Marcellin M W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice. Kluwer, Boston, MA, 2002
- Castelli V, Bergman L, et al. Progressive Search and Retrieval in Large Image Archives. 1998
- Duda R O, Hart P E. Pattern Classification and Scene Analysis. John Wiley & Sons, 1973
- Vaidyanathan P P. Orthogonal and biorthogonal filter banks as convolvers, and convolutional coding gain. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(6): 2110~2130
- Richards J A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag, 1993