

数字图像水印与版权保护——概念与方法^{*}

桑 军^{1,2} 廖晓峰²

(重庆大学软件学院 重庆400044)¹ (重庆大学计算机学院 重庆400044)²

摘 要 本文介绍了用于多媒体数字产品版权保护的数字水印技术的应用背景及概念,特别是对于数字图像水印技术特点及系统框架进行了较为详细的分析,并讨论了当前研究热点,明确了今后的研究和应用方向。

关键词 信息隐藏,数字水印,版权保护

The Concept and Approach for Digital Image Watermarking and Copyright Protection

SANG Jun^{1,2} LIAO Xiao-Feng²

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)¹

(College of Computer Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)²

Abstract The background and concept of digital watermarking technology applying to the copyright protection of multimedia digital products are introduced in this paper. Especially, the characteristics and framework for the digital image watermarking are analyzed in detail. Furthermore, by discussing current research trend, future research directions are also given.

Keywords Information hiding, Digital watermarking, Copyright protection

1 引言

随着计算机多媒体技术和网络技术的迅猛发展,多媒体数字产品(数字图像、数字视频、数字音频等)得到了广泛应用。多媒体数字产品具有质量高,易于高效存储,易于处理,易于通过计算机网络传输,特别是可以方便地得到与原产品完全一致的复制品等优点^[3],也使得针对多媒体数字产品的非法复制和篡改也更加难以防范。因此,其版权保护成为一个迫切需要解决的问题。数字水印技术^[1~5]作为多媒体数字产品版权保护的有效手段,近年来在国内外引起了人们的广泛重视和研究。

从技术发展角度看,数字水印技术属于信息隐藏技术,与密码学具有密切的联系。

密码学(cryptography)研究如何将原始信息(明文)加密为秘密信息(密文),从而达到保护明文内容的目的。但加密技术只能在数据传输和存储时提供保护,而无法保护正在处理的数据。作为多媒体数字产品,在提供给用户使用,必须是解密的,而一旦解密,也就无法得到有效的保护。

信息隐藏(information hiding)研究如何在公开信息中隐藏秘密信息,它又可分为隐写术(steganography)和数字水印技术(digital watermarking)。隐写术主要着眼于隐藏信息的存在性。密码学并不隐藏信息的存在,攻击者知道秘密信息存在,但无法理解其具体内容;而隐写术则使攻击者根本无法得知在公开信息中是否有秘密信息,这是隐写术与密码学的一个本质不同。当然为了增加安全性,通常也要对被隐藏的信息进行加密。数字水印技术则通过在多媒体数字产品中加入作者的私有信息,达到版权保护的目。它与隐写术的主要不同在于:对于隐写术,攻击者的目的是从公开信息中发现其中

隐藏有秘密信息,并从中提取出秘密信息,对于数字水印,攻击者的目的是从多媒体数字产品中提取并消除数字水印,或者通过某些处理手段,使得水印信息不能被正确检测,从而实现盗版目的,因此数字水印技术对于各种可能攻击具有更强的稳健性要求^[1]。

本文试图对于数字水印技术做一些总结和分析,特别是对于数字图像水印算法框架以及数字图像水印技术的当前发展趋势进行了较为详细的讨论。

2 基本概念

2.1 数字水印的分类

数字水印可以按多种方式分类。

按照数字水印的主要应用领域进行分类^[1,2]:可以分为版权保护(copyright protection),盗版跟踪(piracy tracing),标志隐藏(hidden annotation),复制保护(copy protection),图像认证(image authentication)等。其中版权保护是数字水印的主要用途。它是在多媒体数字产品中加入代表版权信息的数字水印,可以在该作品被盗版或出现版权纠纷时,从中获取水印信号证实版权所有,检举和起诉盗版者,从而保护所有者的权益。

根据水印载体分类^[2]:可以分为图像水印(Image),音频水印(Audio),视频水印(Video),文本水印(Text)等。发展中的还有其它水印载体^[6]:3-D图像,3-D模型,矢量图形,软件(源代码,二进制代码等),数值数据集等。

根据数字水印的特性分类:有稳健(Robust)数字水印和脆弱(Fragile)数字水印两种。

稳健数字水印是指嵌入数字水印信息的载体在经过各种处理甚至恶意攻击后,除非载体的信号被大幅度削弱,其商业

^{*}国家自然科学基金(60271019),教育部博士点基金(2002061107),重庆市科委应用基础研究项目(7370)和重庆大学基础及应用基础研究项目(713411003)资助。桑 军 博士研究生,主要研究方向为计算机信息安全,数字水印,图像处理。廖晓峰 教授,博士生导师,主要研究方向为神经网络,混沌理论。

价值大幅度下降,否则无法有效地去除水印,均可以从中确认数字水印。它可用于大多数数字水印的应用领域,主要用于所有权确认。

脆弱数字水印对于载体信号的变化敏感,嵌入数字水印信息的载体发生变化,将影响到数字水印的检测,从而提示数据已被修改。脆弱数字水印对稳健性要求较低,通常只要求部分稳健性。它主要用于完整性确认。

本文的讨论主要针对用于版权保护的稳健数字图像水印。

2.2 用于版权保护的稳健数字图像水印算法的基本要求^[1-4,7]

根据数字水印应用目标的不同,对其算法设计有不同要求。用于版权保护的稳健数字图像水印的基本要求包括:

(1)不可感知性(Imperceptibility) 是指数字水印嵌入到原始图像后,不会引起人眼感知意义上的明显的质量下降。这是由于人类视觉系统存在的冗余性,也正是因为此冗余性,才有可能实现数字水印技术。

(2)稳健性(Robustness) 指数字水印必须很难(希望不可能)被清除,以防止别人破坏水印使自己无法证明版权。所有这些无意或有意的攻击通常包括图像有损压缩(JPEG, JPEG2000),加性高斯噪声,低通滤波,图像量化与图像增强,信号处理,几何变形(平移,缩放,旋转,裁剪),D/A, A/D 转换等。

一般来说,稳健性和不可感知性相互冲突。嵌入水印信号增强,将提高其稳健性,但会降低其不可感知性。因此,人们希望能利用人类视觉系统(Human Visual System, HVS)模型,设计出超过人类感知限度的最大能量水印,在保证不可感知性的前提下,努力提高水印的稳健性。

目前尚没有提出能够抵抗所有类型攻击的数字水印方案,甚至还不知道是否有这样的方法^[1]。因此,目前所能做的是根据所设计水印算法的应用目的和应用领域,设计稳健性尽量高并具有较高检测可靠性的水印算法。

(3)安全性(Security) 指设计的数字水印应具有密码学意义上的安全性,即其安全性应依赖于密钥的安全,而不是算法的安全。也就是说,假设攻击者知道水印算法的所有细节,但不掌握检测水印时需要的密钥,则不能够提取或消除水印。只有掌握检测密钥的版权所有者或授权用户能够检测水印的存在,从而证明版权。

除了以上基本要求外,对于数字水印的要求还包括具有足够的检测可靠性,即虚警概率和漏检概率要足够小,允许加入多重水印而不互相干扰等^[2,7]。

3 数字水印算法

3.1 数字水印算法基本框架

数字水印算法尚无标准,目前已提出了多种不同算法,它们在框架上大体一致,细节上有所不同^[1,2,4,6]。一般可将数字水印算法框架分为水印生成(Generation)、水印嵌入(Embedding)、水印检测(Detection)三部分。

以下将分别讨论数字水印的生成、嵌入和检测,在此之前,先对所涉及符号作如下约定:

- (1) X : 被保护的原始数据(本文中指原始图像);
- (2) W : 水印信号;
- (3) K : 水印密钥;
- (4) X_w : 加入水印的图像;
- (5) X' : 待检测图像。

3.2 水印的生成

水印的生成即产生用于嵌入图像中的水印信号。水印信号可以是伪随机序列,也可以是二值图像甚至灰度图像(例如版权标志等)或序列号。

(1) 伪随机序列水印信号的生成

·由密钥 K 控制伪随机发生器(近来也有采用混沌系统^[8-10])产生水印信号,即: $K \rightarrow W$;

·也由原始图像 X 在密钥 K 控制下产生与原始图像相关的水印: $X \times K \rightarrow W$;

·还可由密钥 K 控制产生初始水印信号,再与原始图像 X 一起运算产生与原始图像相关的水印,即: $K \rightarrow W, W \times K \rightarrow W$ 。

使用与原始图像相关的水印可以防止攻击者掌握大量嵌入同一水印图像后通过统计手段(共谋攻击^[1,7])提取并去除水印。

伪随机序列水印信号生成时的参数或/和初始值即可作为水印生成的密钥,只有知道此密钥的人,才可能生成此水印信号,也才能证明其为合法的版权所有者。此种水印信号通常为二维信号,在嵌入到图像中时需要转化为二维信号,此时选择的转换方式对于水印稳健性有一定影响(例如采用 peano 扫描和细胞自动平滑等^[8])。

(2) 图像水印信号的生成

·直接使用二值图像 W 作为水印,在嵌入时再由密钥控制嵌入方式;

·使用二值图像 W 作为原始水印信号,使用密钥控制产生最终水印信号: $W \times K \rightarrow W$;

·也可产生与原始图像相关的最终水印信号: $W \times X \times K \rightarrow W$ 。

3.3 水印的嵌入

水印的嵌入将水印信号嵌入到原始图像中得到嵌入水印的图像。嵌入水印的图像与原始图像从视觉上应无明显差别。通常需要在密钥(这时的密钥一般不同于水印生成时使用的密钥)的控制下嵌入: $X \times W \times K \rightarrow X_w$ 。

根据水印信号嵌入图像的方式,数字水印算法可以分为两大类:空域技术和变换域技术。它们分别通过改变图像空域的某些像素的灰度或图像变换域(DFT, DCT, DWT 等)的一些系数的值来嵌入水印。

(1)空域(Spatial Domain)嵌入技术^[7-12] 早期关于数字水印的研究工作大都集中在空域嵌入上。空域嵌入技术根据水印信号直接修改原始图像某些像素的值,其最大特点是直观,方便,效率高,其缺点也很明显,稳健性较差。

对于二值图像水印,在嵌入到空域时,一般是通过随机选择(由伪随机发生器产生,其种子值则可作为密钥)嵌入位置,达到隐藏嵌入的目的。为了提高安全性,还可先对原始水印进行随机置乱(即加密)。

对于伪随机信号水印,在嵌入到空域时,可以在整个空域中嵌入,即将一维伪随机信号,转换为二维信号,对于图像空域逐点嵌入,由于信号本身的伪随机性,保证了嵌入信号的安全性。当然,也可通过随机选择嵌入位置,隐藏嵌入,进一步提高安全性。

(2)变换域(Transformation Domain)嵌入技术 变换域技术在嵌入水印前先对图像进行某种可逆的数学变换(常用的变换有离散余弦变换 DCT^[13-16]、离散小波变换 DWT^[17-20]、离散 Fourier 变换 DFT^[21,22]等),然后通过修改变换域的某些系数嵌入水印,再进行逆变换得到加水印的图像。一般来说,在变换域中嵌入水印有利于不可感知性,并且比在空域中嵌入水印对图像处理的稳健性要强一些。变换域

技术的主要缺点是计算代价较大。

对于二值图像水印,在嵌入到变换域时,可将其置乱或不置乱(主要区别在于安全性程度不同),随机选择嵌入位置,将其嵌入到不同的变换系数中。

对于伪随机信号水印,在嵌入到变换域时,可以通过随机选择嵌入位置,隐藏嵌入。当然,从另一个角度考虑,也可选择固定嵌入位置,而嵌入的水印信号是随机的(即每个系数处嵌入信息与由水印确定,因而是随机的),也可保证安全性。

(3)人类视觉系统在水印嵌入时的应用 根据人类视觉系统的研究,人眼对于具有不同性质的图像区域,有不同的感知特性,背景的亮度越高,纹理越复杂,人类视觉对其轻微变化就越不敏感。这种现象称为照度掩蔽和纹理掩蔽。掩蔽指在一个掩蔽信号存在的情况下,另一个信号不会被人类感知^[3]。视觉掩蔽特性表明,具有不同局部性质的区域,在保证不可感知性的前提下,可允许迭加的信号强度可不同。因此,应该尽可能地将水印嵌入到图像中人类视觉不敏感的部位。

一个好的稳健数字图像水印算法应当结合人类视觉特性,针对图像特征进行数字水印信息的嵌入,最大限度地保证数字水印的稳健性^[13,16,18~20]。

3.4 水印的检测

水印检测是水印框架中最重要的部分,无论是水印生成算法,还是水印嵌入算法,最终要以能否正确可靠地检测水印为基准。我们将从多个角度对此给予详细讨论。

首先,人们习惯于根据数字水印检测时输入和输出的不同将其分为私有水印(private watermarking)、半私有水印(semi-private watermarking)和公开水印(public watermarking)三类^[1,4]。私有水印(或称非盲水印,non-blind watermarking)在检测时至少需要原始图像(有时还需要原始水印)。非盲检测可以从待检测图像中提取出水印,也可以是利用概率统计方法得到是否存在水印的结论;半私有水印(或称半盲水印,semi-blind watermarking)在检测时不需要原始图像,但需要原始水印,此时一般是利用概率统计方法得到是否存在水印的结论;公开水印(或称盲水印,blind watermarking)在检测时,既不需要原始图像,也不需要原始水印,它是从已嵌入水印的图像中提取水印信息。

由于不需要原始图像的水印检测具有快速、自动实现的优点,半盲检测和盲检测水印的应用范围比非盲检测算法要广泛。

其次,根据水印检测方法,可分为提取并重建水印从而直观表达版权信息,或者是利用概率统计方法判断水印存在性。对于伪随机水印信号,由于不能直观表达版权信息,需要通过概率统计方法判断是否存在所检测水印。而对于二值图像水印,在提取后可以直观表达版权信息,从而直接判断版权的归属。当然,对于二值图像水印也可以通过概率统计方法判断水印的存在性。下面将详细讨论这两种水印检测方法。

(1)提取并重建水印^[7,15]。只用于图像水印信号。由于原始水印为代表版权所有者的图像,有可能提取并重建,从而直观地表达图像的所有者。

(2)利用概率统计方法判断待检测图像中是否存在水印,它既可用于二值图像水印,也可用于伪随机序列水印。大致包括两类方法:

a. 利用假设检验判断是否存在水印^[7,8,11]。利用统计学中的假设检验,构造假设检验统计量,通过计算此统计量的值给出是否存在水印的判断。比较典型的有 patchwork 算法^[11]。

b. 利用相关性检验(有时也称相似性^[34])判断是否存在水印^[7,12~14,16,19~22]是目前水印检测中最常用的方法,它将提

取出的信号和原始水印信号作相关运算,或直接使用原始水印信号与待检测图像进行相关运算,判断待检测图像中是否存在参与运算的原始水印。

•提取信号与原始水印作相关运算

假设 W 为原始水印信号, W' 为在待测图像中检测出的信号,则一种相关性检验形式为:

$$\text{cor}(W, W') = \frac{W * W'}{\sqrt{W' * W'}} = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i * W'_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (W'_i * W'_i)}}$$

其中 N 为信号序列长度。

此公式还可有多种变化形式,例如:

$$\text{cor}(W, W') = \frac{1}{N} (W * W') = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (W_i * W'_i)$$

$$\text{cor}(W, W') = W * W' = \sum_{i=1}^N (W_i * W'_i)$$

•直接使用待检测图像与原始水印作相关运算

同理可求得待检测图像 X' 与原始水印 W 的相关值,从而判断 X' 中是否有 W 。此时一般是基于如下假设:

假设 X 为原始图像, W 为原始水印, X' 为待检测图像。再假设 X 与 W 独立同分布, W 均值为0(此时 W 为满足高斯分布的随机序列)。水印嵌入采用如下方法:

$X_w = X + \alpha W$ 其中 α 为嵌入水印强度。

如果 X' 不包含水印 W ,即: $X' = X$ 。则: $\text{cor}(X', W') = \text{cor}(X, W)$

如果 X' 嵌入了水印 W ,在不考虑攻击的情况下, $X' = X_w$

$$\begin{aligned} \text{cor}(X', W') &= \text{cor}(X + \alpha W, W) \\ &= \text{cor}(X, W) + \alpha \text{cor}(W, W) \end{aligned}$$

其中 $\text{cor}()$ 与前述定义类似。

求出相关系数 cor ,根据中心极限定理,假设其分布为正态分布(高斯分布),再分析其均值和方差,则可得到 cor 的分布情况。

在判断是否存在水印时,采用如下方式:根据设定的检测概率的要求,如果相关值 cor 超过某一设定的阈值 T (此值可通过理论分析^[23,34]或实验确定),就可以判定图像中存在此水印,否则认为没有嵌入水印或嵌入的不是此水印。另一种方法是在使用正确水印信号检测的同时,再随机选择若干个(一般为1000以上)其它水印信号,进行相关性检验。由于正确水印信号检测出的相关系数远大于其余水印信号检测出的相关系数,因而可以判断水印存在。但这是在已知正确水印的情况下,而在有的检测环境中,事先并不具有嵌入水印的相关判断,因此不仅要检测是否存在水印,同时也需要检测嵌入的是何水印。在大量生产数字多媒体产品时,这显得尤为重要,因为此时需要自动检测,而在不同产品中嵌入的一般不会是同一种水印(为了安全性考虑),因此需要在水印库中逐个比对,得出是否嵌入水印以及嵌入的是何水印的结论,这就需要有一个阈值 T 来进行判断。

以上检测水印的方法,并不是完全独立的,有时可综合使用。例如:给定一幅图像,需要在大规模水印库中检查是否有水印嵌入在其中。对于二值图像水印信号,先使用相关性检验判断提取出的信号是否就是所检测的原始水印,如果是,则停止搜索,输出提取信号,直观判断版权所有。

在进行水印检测时,存在两类可能错误^[1,2]:

I类错误:检测出存在水印,实际上没有水印。此类错误的发生概率用虚警概率 P_{fa} (false alarm probability)表示。

II类错误:检测出没有水印,实际上存在水印。此类错误

的发生概率用漏警概率 P_{f_r} (false rejection probability) 表示。

一般而言, P_{f_d} 与 P_{f_r} 相互对立, 其中一个的减小会导致另一个增大。从风险控制的角度出发, 我们希望在首先保证 P_{f_d} 为较小值的情况下, 使 P_{f_r} 达到最小。通常使用理论分析或实验得到接收者操作特性 (Receiver Operating Characteristics, ROC) 曲线, 并使用 ROC 曲线评价水印算法的检测可靠性^[1]。

水印算法框架中水印生成, 水印嵌入, 水印检测这三个部分并不是完全独立的, 各部分设计都需要考虑到满足水印算法的要求 (不可感知性, 稳健性, 安全性等), 并且要综合考虑三个部分的合理结合。

4 数字图像水印技术研究展望

对于一个实际的数字水印系统, 需要考虑到数字水印的应用目标、可能受到的攻击、载体信号的形式、不可感知性和稳健性的权衡、水印的检测模式等, 任何一方面的不同, 都可能导致不同的数字水印方案。从数字水印的应用目标来看: 用于版权保护的水印要求较强的稳健性, 对于嵌入信息量要求不高, 只要能识别出版权所有者即可。从可能受到的攻击来看, 一般的文献均考虑了图像压缩和滤波, 大多数考虑了一般图像处理, 少部分考虑了几何变形攻击 (这也是数字水印技术的难点)。从水印的检测模式来看, 非盲检测在部分场合具有一定的应用价值, 而大多数情况下需要做到水印半盲/盲检测。

当前, 数字水印技术正在稳步发展, 随着研究的深入, 也给研究者提出了更多的课题。文^[24]从应用及技术的角度分别探讨了数字水印技术的未来, 指出数字水印技术的应用领域需要不断扩展, 甚至用于一些非保密安全领域。在理论研究的同时, 需要更加注重实用技术的研究。

当前关于数字图像水印技术研究较多地集中于以下一些方面:

(1) 混沌系统在数字水印中的应用^[7~10, 25]。由于混沌序列具有类随机性, 对于参数及初值的敏感性, 数量众多, 良好的相关性等特性, 可以产生大量具有优越性能的水印。

(2) 神经网络在数字水印中的应用。利用神经网络的学习与自适应能力, 优化水印嵌入及检测算法。可以在水印中嵌入部分固定量, 检测时用于神经网络学习, 从而更好地检测水印^[26]。也可以在嵌入前使用神经网络获取图像信息, 以便于自适应嵌入^[27]。

(3) 抗几何攻击算法研究。主要是研究能够抵抗平移, 旋转、缩放及剪切的水印算法^[21, 28~30]。这也是一个研究的难点, 目前所提算法大多数需要在满足一定条件时才能正确检测水印。例如文^[30]就假设无论在图像旋转或平移后是否进行了剪切, 图像大小应保持不变 (即被剪切部分应以某种颜色填充), 而且比例缩放不应与剪切同时发生 (因为无法区分缩放及剪切同时进行各自对于图像大小的影响程度), 才能正确地检测水印。

(4) 新的检测理论及手段探讨^[31~34]。文^[31, 32]通过建立数字水印嵌入及检测模型对其进行了理论分析。文^[33]将关于 DCT 及 DWT 系数的分布假设由高斯分布修改为广义高斯分布, 并将一般假设检验方式修改为 Rao 检验, 优化了水印检测性能。文^[34]通过改进相关性检验系数计算及阈值确定方法, 也一定程度改进了水印检测性能。

我们的研究将集中于以混沌系统, 计算智能, 神经网络等手段, 结合通信理论、概率统计原理, 设计出适应能力强, 检测效率及准确率高, 抗攻击能力强的数字图像水印算法, 特别是能抵抗几何变形攻击的算法。

参考文献

- 1 吴秋新, 钮心忻, 杨义先, 罗守山, 杨晓兵译. 信息隐藏技术——隐写术与数字水印[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- 2 汪小帆, 戴跃伟, 茅耀斌. 信息隐藏技术——方法与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 3 Swanson M D, Kobayashi M, Tewfik A H. Multimedia data-embedding and watermarking technologies [J]. Proc. of the IEEE, 1998, 86(6): 1064~1087
- 4 Petitcolas F A P, Anderson R J, Kuhn M G. Information hiding—a survey [J]. Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1062~1078
- 5 Hartung F, Kutter M. Multimedia watermarking technologies [J]. Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1079~1107
- 6 <http://poseidon.csd.auth.gr/signatures/>
- 7 Voyatzis G, Pitas I. Digital image watermarking using mixing systems [J]. Computer & Graphics, 1998, 22(4): 405~416
- 8 Voyatzis G, Pitas I. Chaotic watermarks for embedding in the spatial digital image domain [A]. Proc of ICIP'98[C], 1998, 2: 432~436
- 9 Nikolaidis N, Tsekeridou S, Nikolaidis A, Tefas A, Solachidis V, Pitas I. Applications of chaotic signal processing techniques to multimedia watermarking [A]. In: Proc. of the IEEE workshop on Nonlinear Dynamics in Electronic Systems [C], Catania Italy, May 2000. 1~7
- 10 Nikolaidis A, Pitas I. Comparison of different chaotic maps with application to image watermarking [A]. In: IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2000)[C], Geneva, Switzerland, May 2000. 509~512
- 11 Bender W, Gruhl D, Morimoto N. Techniques for data hiding [A]. In: Proc. of the SPIE 2420, Storage and Retrieval for Image and Video Database III [C], 1995. 164~173, 40~43
- 12 Kutter M, Jordan F, Bossen F. Digital signature of color images using amplitude modulation [A]. In: Proc. SPIE-EI97[C], 1997. 518~526
- 13 Cox I J, Kilian J, Leighton F T, Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1687
- 14 Piva A. DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images [A]. In: Proc. of ICIP'97[C], 1: 520~523
- 15 Hsu C T, Wu J L. Hidden signature in images [A]. Proc of ICIP [C], 1996, 3: 223~226
- 16 Podlichuk C I, Zeng W. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 525~539
- 17 Swanson M, Zhu B, Tewfik A. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 540~550
- 18 Kundur D, Hatzinakos D. Digital watermarking based on multiresolution wavelet data fusion [A]. Proc. of ICIP [C], 1997, 1: 544~547
- 19 Barni M, Bartolini F, Piva A. Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 783~791
- 20 Kim Y S, Kwon O H, Park R H. Wavelet based watermarking method for digital image using the human visual system [J]. Electronics Letters, 1999, 35(6): 466~468
- 21 O'Ruanaidh J, Pun T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking [J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 303~317
- 22 O'Ruanaidh J, Dowling W, Boland F. Phase watermarking of digital images [A]. Proc. of ICIP [C], 1996, 3: 239~242
- 23 Piva A, Barni M, Bartolini F, Cappellini V. Threshold selection for correlation-based watermark detection. In: Proc. of COST 254 Workshop on Intelligent Communications, L' Aquila, Italy, June 1998. 67~72
- 24 What is the future for watermarking? (part I) [J]. IEEE Signal Processing Magazine, Sept. 2003. 55~59
- 25 张春田, 张静. 基于混沌映射的鲁棒性图像水印算法 [J]. 电子学报, 2002, 30(1): 69~72
- 26 Yu P T, Tsai H H, Lin J S. Digital watermarking based on neural networks for color images [J]. Signal Processing, 2001, 81(3): 663~671
- 27 梅时春, 李人厚, 方海舰. 一种神经网络自适应数字图像水印算法 [J]. 通信学报, 2002, 23(12): 47~53
- 28 Lin C Y, Wu M, Bloom J A, et al. Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 767~782
- 29 Baudry S, Nguyen P, Maitre H. Optimal decoding for watermarks subject to geometrical attacks [J]. Signal Processing: Image

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。

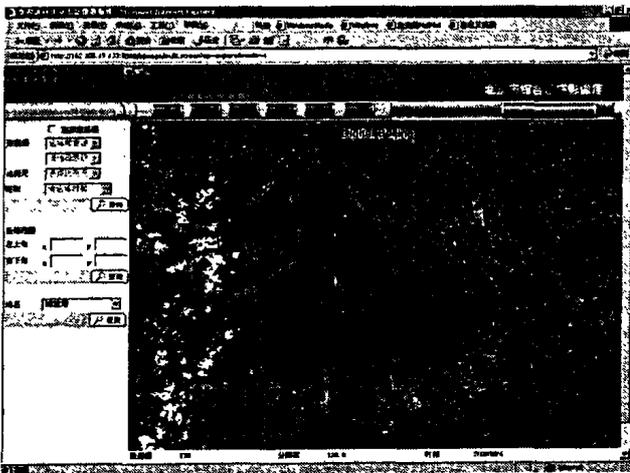


图4 遥感影像数据库系统界面

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