

多尺度 Retinex 算法在简牍图像增强中的应用

汪刘艳 王绪本

(四川成都理工大学信息工程学院 成都 610059)

摘 要 简牍图像增强是简牍文字修复和文字信息提取最为关键的一个步骤。以长沙简牍博物馆收藏的简牍文物为实物模型,以该馆提供的简牍数字图像为研究对象,提出了基于多尺度 Retinex(MSR)算法的简牍图像增强方法,论述了本算法的原理及实现方法。采用 MSR 算法来消除光照对简牍图像的退化影响,以达到增强图像暗区细节信息的目的;同时针对 MSR 输出图像偏暗,提出了直方图拉伸算法。试验结果表明:本算法能够提高简牍图像对比度的同时,能显著地增强图像暗区的细节信息并且使简牍图像具有较好、较高的色彩保真度。本方法克服了目前常规的图像增强方法的不足,能够满足简牍考古人员的要求。

关键词 Retinex 理论, 多尺度 Retinex 算法, 直方图拉伸, 简牍图像

中图法分类号 TP751 **文献标识码** A

Application of Multiscale Retinex in JianDu Image Enhancement

WANG Liu-yan WANG Xu-ben

(College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract Enhancement of the JianDu Image is a key procedure in character reconstruction and text extraction. We made the JianDu relics from Changsha Jiandu museum as a model and taken the JianDu images as our research objects. An enhancement algorithm of JianDu image based on multiscale Retinex was presented. Based on the theory of Retinex, the multi-scale Retinex(MSR) algorithm was employed to remove the luminance degradation of the JianDu image. The information of hidden area of the JianDu image was obviously enhanced. For the intensity of the MSR processing output is weak, one normal histogram stretching method was deployed to improve the output brightness. The results of experiment show that MSR can improve effectively not only the contrast but also can observably enhance the information of hidden area in the JianDu image and provided better tonal rendition. The algorithm can overcome the lack of enhancement of traditional enhancement methods and satisfy the archaeologist's demand.

Keywords Retinex theory, Multiscale retinex, Histogram stretching, JianDu image

简牍是对我国古代遗存下来的写有文字的竹简与木牍的概称,是我国继甲骨卜辞、居延汉简、敦煌文书之后在古文领域中的又一重大发现。由于文字材料令我们能更加直接地了解历史,其可靠程度大大超过文献的记载,因此简牍保护及对其信息的提取和分析对考古学的研究有着很重要的意义。为了防止在对简牍研究的过程中对简牍本身造成损害,目前普遍的做法是对简牍实物进行拍照,简牍考古工作者利用简牍图像来进行文字的修复、文字的提取等工作。

本文以长沙简牍博物馆所收藏的我国古代秦、汉、三国时期的简牍文物为实物模型,并以该馆所拍摄的简牍实物图像作为研究对象。由于大多数简牍实物长期埋存地下,出土时重叠、粘连,有的腐蚀、朽烂,有的根本难以识别简牍上的文字符号,同时在简牍数字图像获取过程中外界光照的非均匀分布,导致了大多数简牍图像都存在着对比度低、分辨率低的缺点。传统的图像增强方法虽然能够使图像的对比度增强,但通常会丢失图像暗区的细节信息,并且会导致图像颜色的失

真。所以需要一种有效的简牍图像增强算法,在提高图像对比度的同时,能有效地增强图像暗区的细节信息并且使简牍图像具有较高的色彩保真度。

本文针对简牍数字图像的特点及常规增强方法的不足,提出了基于多尺度 Retinex 算法对简牍图像进行增强处理,以满足简牍考古工作者的需求,为简牍的文字信息的提取打下基础。

1 Retinex 理论与 MSR 算法

1.1 Retinex 理论

Retinex 理论是基于色彩恒常的一种代表性计算理论,其全称是视网膜皮层理论(Retinal-cortex theory),由 Land 于 20 世纪 70 年代初提出。该理论论述了人眼视觉系统如何获取景物的图像,并具有色感一致性。所谓色感一致性,是指在人眼能够在不同亮度情况下仍可辨认物体本来颜色的能力。Land 基于 Retinex 模型,定义理想的图像 $I(x, y)$ 为

到稿日期:2008-07-10 本文受国家“十五”科技攻关项目“文物保护关键技术研究”(2004BA810B)资助。

汪刘艳(1976—),男,博士研究生,研究方向为地理信息系统, E-mail: wlyxz@sina.com; 王绪本(1956—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为地球探测与信息技术。

$$I(x,y)=R(x,y)L(x,y) \quad (1)$$

即一幅图像 $I(x,y)$ 可以用环境亮度函数 $L(x,y)$ 和景物反射函数 $R(x,y)$ 的乘积来表示。环境亮度函数 $L(x,y)$ 描述周围环境的亮度,与景物无关;而景物反射函数 $R(x,y)$ 是指景物反射能力,与照明无关,它包含了景物的细节信息。基于这种模型得到的环境亮度函数 $L(x,y)$ 是一种变化缓慢的图像低频信息,而反射函数 $R(x,y)$ 则包含着图像中的大部分高频细节信息。Land 基于人眼视觉系统引入了图像的 eenter/surround 空间形式。Jobson 等人在 Land 的研究成果基础上,定义了单尺度的 Retinex 算法 (Single Seale Retinex, SSR),该算法可用下面的表达式描述:

$$R_i(x,y)=\log I_i(x,y)-\log[F(x,y)*I_i(x,y)] \quad (2)$$

其中 $I_i(x,y)$ 表示输入图像中的第 i 个颜色通道, $*$ 表示卷积运算, $R_i(x,y)$ 表示 Retinex 的输出, $F(x,y)$ 为高斯函数,其表达式为:

$$F(x,y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (r=x^2+y^2) \quad (3)$$

由于 σ 是高斯滤波器的唯一参数,因而它也是 SRS 的一个关键参数,称为尺度参数,直接决定着 SRS 的性能。当高斯模板半径越小,即 r 越小时, SRS 的动态压缩能力越强,图像中阴暗部分的细节就越能得到较好的增强,但是输出图像的颜色失真比较严重;反之,当高斯模板半径 r 越大,即 σ 越大时,输出图像的颜色保真度越好,但是动态压缩能力也同时减弱。两者无法兼得,于是 Zia-ur Rahman 等进一步将 Retinex 做多尺度扩展。

1.2 多尺度 Retinex(MSR)

多尺度 Retinex(Mutiscale Retinex, MSR)是对 SSR 的概括。它之所以优于 SSR,在于它是能够同时提供动态范围压缩,又可保证图像的色感一致性好的图像增强方法。该算法用下式来表示:

$$R_{MSRi}=\sum_{n=1}^N\{\log I_i(x,y)-\log[F_n(x,y)*I_i(x,y)]\} \quad i=1,\dots,K \quad (4)$$

其中下标 i 表示第 i 个光谱带; K 表示光谱带个数, $K=1$ 时代表灰度图像, $K=3$ 代表彩色图像 (RGB); N 表示尺度的个数; F_n 表示第 n 尺度下的高斯函数, W_n 为对应于 F_n 的权重。根据对多组典型简牍图像的试验仿真表明选取大、中、小 3 个尺度 (选用 240, 20 和 5) 的高斯函数, 并且每个尺度的权重取 1/3 时能够取得较好的增强效果。

2 MSR 算法在简牍图像增强中的应用

本文的简牍图像增强算法流程如图 1 所示,分为 Retinex 处理和直方图拉伸两个基本步骤,首先对简牍图像进行 Retinex 处理,经过 MSR 处理的简牍图像偏暗。为了使简牍图像具有更好的视觉效果,需要对其进行直方图拉伸,进一步提高图像的对比度。图 1 中展示了本文简牍图像增强算法流程。

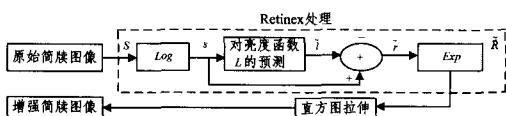


图 1 简牍图像增强算法流程

2.1 简牍图像增强算法实现

本文利用多尺度 Retinex 算法模型来处理简牍图像。在对数空间中,将原图像减去高斯函数与原图像的卷积,其物理本质是除去了原图像中平滑的部分,突出了原图像中快速变化的部分。而且,高斯函数越尖锐,越是突出图像中的细节;高斯函数越平坦,图像色调保持得越好。为了达到既增强简牍图像暗区细节信息又使其具有较好的色感一致性的目的,使用 3 种不同尺度的高斯函数对简牍图像进行卷积操作,最后将 3 种标准偏差尺度下得到的结果进行加权平均,得到增强后的简牍图像。简牍图像增强算法具体实现如下:

(1) 图像函数可用下式表示:

$$S(x,y)=R(x,y)L(x,y) \quad (5)$$

其中 I 表示原始图像, R 表示反射光分量, L 表示照射光分量。

(2) 对函数两边取对数,进而将照射光分量和反射光分量表示成和的形式:

$$s=\log S=\log(R \cdot L)=\log R+\log L=r+l \quad (6)$$

(3) 用高斯模板对原图像做卷积,即相当于对原图像做低通滤波,得到低通滤波后的图像 D , $F(x,y)$ 表示高斯滤波函数:

$$D(x,y)=S(x,y)*F(x,y) \quad (7)$$

(4) 在对数域中,用原图像减去低通滤波后的图像,便可得到高频增强的图像:

$$R(x,y)=\log S(x,y)-\log D(x,y) \quad (8)$$

(5) 分别取高、中、低 3 个尺度 (选用 240, 20 和 5), 每个尺度的权重取 1/3 进行计算, 求和:

$$R=R_1+R_2+R_3 \quad (9)$$

(6) 对 $R(x,y)$ 进行直方图拉伸, 得到最终的结果图像。

2.2 仿真结果

从图 2 中可以看出,在原始简牍图像的左端暗区,其内信息几乎不可分辨的情况之下,利用 MSR 算法增强后能得到比较满意的增强效果,并且也具有较高的色彩保真度。通过直方图拉伸处理之后,整个简牍图像的对比度得到显著的提高。

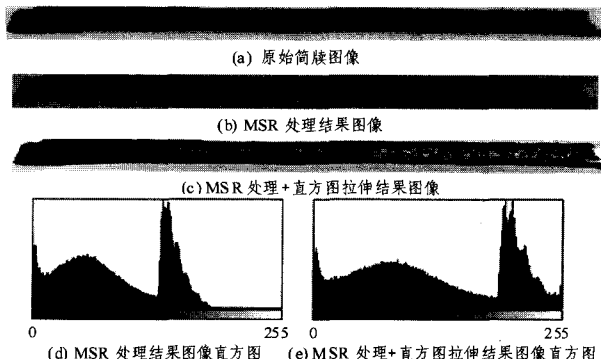


图 2 简牍原图像及 MSR 增强结果图像

结束语 多尺度 Retinex(MSR)算法是一种非常有效的、基于人眼视觉原理的图像增强算法,既能有效地压缩图像的动态范围,实现图像中阴暗部分的细节信息的增强,又可以使图像具有较好的色感一致性,具有广泛的应用领域。本文应用多尺度 Retinex 算法对简牍图像进行增强处理。试验表明,本算法既能够实现简牍图像对比度的增强,又使简牍图像

具有较高的色彩保真度,可显著地增强图像暗区内细节信息的可视度,大大地提高简牍考古工作者史料解读工作的准确性和可靠性。

参考文献

[1] Land E. An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory of color vision. Proc. Nat. Acad. Sci., 1986, 83: 3078-3080

[2] Land E. Recent advances in retinex theory and some implications for cortical computations. Proc. Nat. Acad. Sci., 1983, 80: 5163-5169

[3] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex Processing for Automatic Image Enhancement // Human Vision and Electronic Imaging VII, SPIE Symposium on Electronic Imaging, Porc. SPIE 4662. 2002

[4] Kimmel R, Shaked D, Elad M. A Variational Framework for Retinex

[5] Devir Z, Tridensky L. Dynamical Range Compression While Improving the Visual Quality of Color Images

[6] Land E. Recent advances in retinex theory. Vision Research, 1986, 26(1): 7-21

[7] 孙炯,邵枫,陈偕雄. 一种新颖的多视点图像规正算法. 计算机工程与应用, 2007(17)

[8] 刘瑛,王绪本. 简牍图像文字切分算法研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(21): 5586-5589

[9] 覃庆炎,王绪本,蒋维. 反锐化掩模法在简牍文字增强中的应用[J]. 微计算机信息, 2008, 3(24): 241-242

[10] 芮义斌,孙锦涛,程凤雷. MSR 在红外图像增强中的应用. 光电技术应用, 2006(6)

[11] 王彦臣,李树杰,黄廉卿. 基于多尺度 Retinex 的数字 X 光图像增强方法研究. 光学精密工程, 2006(2)

[12] 陈雾. 基于 Retinex 理论的图像增强算法研究. 学位论文. 南京理工大学, 2006

(上接第 260 页)

I/O 操作实施于 $m-1$ 个索引文件及数据文件上,其 I/O 操作次数为:

$$T_I = \lfloor \log_2^{m-1} \rfloor + \dots + \lfloor \log_2^{11} \rfloor + m - 1$$

如果直接对磁盘文件进行顺序查找,则时间复杂度为 $T_S = O(n)$,也就是要进行 n 次 I/O 操作。

在设计时需精确计算 T_I 与 T_S 的关系,并依此确定 m 的大小,从而反过来给硬件设计确定相应的主存大小,通常 m 取值为 2~3。

(2)空间复杂度分析

假设数据文件记录数为 n ,每记录大小为 k 字节,每记录关键字为 1 字节(仅为表述方便),则该文件有 n 个关键字,文件总大小为 nk 字节。

假设每级索引文件的索引号所占字节数为 1,递减级数为 i ,即每个索引号对应 i 个记录或次级索引号,则第一级索引文件的索引号为 n/i 条,共 $2n/i$ 个字节,第二级索引文件共 n/i^2 条记录,共 $2n/i^2$ 个字节,第三级索引文件共 n/i^3 条记录,共 $2n/i^3$ 个字节,其余依此类推。因此,索引文件的总体积相对于原数据文件以指数级下降。建立索引后的总体积大小为:

$$nk + 2n(1/i + 1/i^2 + 1/i^3 + \dots) = nk + \frac{2n(1 - \frac{1}{i^n})}{i - 1}$$

若 i 越大,则其索引文件的体积也就越小。

5 实现结果

在具体实现中,采用的 CPU 芯片为 ARM 芯片,设备尺寸总大小为 4cm×12cm,为可移动设备。

数据文件中每记录长为 125 字节,当输入规模为 100 万条记录时,按传统的无索引顺序查找算法,所耗时间为 3.25 秒。采用二重索引结构后,其查找时间为 0.412 秒,比率为 10。当输入规模为 1000 万条记录时,无索引顺序查找耗时为 31 秒,采用二重索引结构后,其查找时间为 1.3 秒,比率为 24。表 6 给出二重索引实验数据。

表 6 二重索引实验数据

规模	顺序查找	二重索引	比率
100 万	3.25	0.412	10
.....			

1000 万	31	1.3	24
--------	----	-----	----

从以上统计数据分析结果表明,在一定的使用环境下,硬件体系结构与软件体系结构影响着整个数据处理的效率。

结束语 本次方案与具体实现算法已成功应用于国内某特大型国营企业相应项目的实现,目前,已良好运行近一年的时间。在将来会面临更大规模的数据处理与更高要求的移动处理,需要更进一步地优化硬件体系,同时,也需要更进一步地优化软件体系架构与算法设计。

参考文献

[1] Guttman A. R - trees : a dynamic index structure for spatial searching[J]. ACM SIGMOD Record Archive, 1984, 14(2): 47-57

[2] Robinson J T. The K - D - B - tree : a search structure for large multidimensional dynamic indexes // Proceedings of the 1981 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Ann Arbor, Michigan April 29-May 01, 1981

[3] Song S I, Kim Y H, Yoo J S. An Enhanced Concurrency Control Scheme for Multidimensional Index Structures. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(1): 97-111

[4] Moses S, Gruenwald L. Scalability of indexing structures in a production systems testbed for computational research. Computers and Industrial Engineering, 2005, 48(1): 97-109

[5] Salton G, Buckley C. Parallel text search methods. Commun. ACM, 1988, 31(2): 202-215

[6] Stanfill C, Thau R, Waltz D. A parallel indexed algorithm for information retrieval. Technical Report DR90-2. Thinking Machines Corporation, Cambridge, Mass., 1990

[7] Stanfill C, Thau R, Waltz D. A parallel indexed algorithm for information retrieval. ACM SIGIR Forum, June 1989, 23(SI): 88-97

[8] Jaggard D. Arm Architecture And Systems. Micro, IEEE Publication Date, 1997, 17: 9-11

[9] Seal D. ARM Architecture Reference Manual, 2nd edition. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 2000

[10] 周立功,等. ARM 微控制器基础与实战(第 2 版). 北京航空航天大学出版社, 2005