

一种颜色保持的彩色图像增强新算法

赵全友,潘保昌,郑胜林,战荫伟

(1. 广东工业大学 信息工程学院, 广州 510006; 2. 广东工业大学 计算机学院, 广州 510006)

(quanyzhao@163.com)

摘 要:分析了 Retinex 理论及其典型彩色图像增强算法,在此基础上提出一种颜色保持的彩色图像增强新算法。利用非线性 sigmoid 传输函数多尺度增强亮度分量,并进行局部对比度增强后获得亮度增益曲面,最后利用亮度增益曲面对原彩色图像 RGB 三颜色分量同比增强,保证了色调恒定不失真。几种算法实验结果的比较和分析。表明,这种算法是有效的。

关键词:Retinex 理论;颜色保持;彩色图像增强

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

New hue preserving algorithm for color image enhancement

ZHAO Quan-you, PAN Bao-chang, ZHENG Sheng-lin, ZHAN Yin-wei

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510006, China;

2. Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510006, China)

Abstract: After analyzing Retinex theory and its typical algorithm for color image enhancement, a new hue preserving algorithm for color image enhancement was presented. Firstly, it utilized a nonlinear sigmoid transfer function to intensify the image brightness component at multi-scale, and then brightness gain curved surface was acquired by reinforcing the image local contrast, finally the original color image RGB three components were enhanced at the same proportion by brightness gain curved surface, which ensured the hue was constant and undistorted. Experimental results of the proposed algorithm and other algorithms were compared and analyzed to illustrate the effectiveness of the proposed method.

Key words: Retinex theory; hue preserving; color image enhancement

0 引言

据统计,人类接受外界的信息有 70% 是视觉信息,图像信息是传递信息的重要媒体和手段。但由于光照、设备等原因,获得图像的亮度不够,导致景物无法看清楚。为了研究和分析图像,需对图像进行必要的处理。而原有的图像增强技术多是针对灰度图像的,如空域增强的直方图均衡化、频域增强的巴特沃斯滤波等方法,并不能直接推广到彩色图像增强中去。这是因为彩色图像的三基色分量(即红、绿、蓝)相关性很高,而且人类对大脑中色彩的处理机制仍未完全理解,使得彩色图像的处理远比灰度图像复杂。常见的彩色图像增强算法有两类:一类是将彩色图像经过色调空间转换,将密切相关的三个分量(RGB)的空间转变到基本不相关的色调空间,保持色相(决定颜色值的分量)不变从而保证了没有颜色的偏移,而对亮度作相应的处理,如转换到 HSV 空间并对亮度分量直方图均衡化的方法,但处理后的图像往往存在伪彩色^[1];另一类算法从人眼对物体颜色的感知特性出发,将色彩恒常性应用于彩色图像的增强,如基于 Retinex 理论的增强方法^[2]。

本文介绍了色彩恒常性及 Retinex 理论,并对典型的 MSRCR 算法^[3]进行了分析,指出了其 Retinex 算法的物理意义和不足。在 Retinex 算法基础上,根据 RGB 颜色空间三分量颜色相关性特点,提出一种颜色保持的彩色图像增强新算法。实验表明该算法有很好的颜色保持和突出细节能力,不

仅能增强了暗区域部分,同时抑制了高亮部分。

1 Retinex 理论增强算法

1.1 Retinex 理论

人眼对物体颜色的感知,在外界照度条件变化时,仍能保持相对不变,表现出色彩恒常性(色彩恒常性)。这种色适应性性质对人类适应环境的过程具有重要意义。1964 年 Land 提出的视网膜皮层理论^[1](即 Retinex 理论,Retinex = Retina(视网膜) + cortex(大脑皮层))是最具影响力的颜色恒常性计算理论。Land 认为,颜色恒常知觉不受照明环境变化的影响,只与视觉系统对物体的反射性质的知觉有关。

根据 Retinex 理论,人眼感知物体的亮度取决于环境的照明和物体表面对照射光的反射,其数学表示式为:

$$L = E \cdot R \quad (1)$$

其中: E 表示入射光, R 表示物体的反射性质; L 是反射光,即被观察者或照相机接收到的图像。

将式(1)两边取对数,则得到式(2):

$$\log(L) = \log(E) + \log(R) \quad (2)$$

而事实上,入射光 E 直接决定了一幅图像中像素能达到的动态范围,被认为是图像 L 的低频分量,可以用一个低通滤波器来估计;反射物体 R 决定了图像的内在性质。Retinex 理论的目的就是为了从图像 L 中获得物体的反射性质 R ,即抛开入射光的性质来获得物体的本来面貌。即:

$$\log(R) = \log(L) - \log(E) \quad (3)$$

收稿日期:2007-08-21;修回日期:2007-10-15。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60572078)。

作者简介:赵全友(1980-),男,湖南永州人,博士研究生,主要研究方向:图像处理、模式识别; 潘保昌(1949-),男,重庆人,教授,博士生导师,主要研究方向:图文识别技术与系统;; 郑胜林(1951-),女,重庆人,教授,主要研究方向:图像信息技术与应用; 战荫伟(1966-),男,吉林九台人,教授,主要研究方向:小波分析、数学形态学、图像编码、模式识别。

由于采用对数域,可以将复杂的乘积形式变成简单的加减,而且对数形式接近人眼亮度感知能力。

Retinex 理论经过 McCann、Rahman、Jobson 等人^[4-7]的发展,Retinex 作为彩色图像增强的算法,同时提供了动态范围压缩和颜色常性。其中动态范围压缩是指 Retinex 算法删除了图像成像过程中由于曝光过度或曝光不足而产生的低亮度和高亮度的强度值;颜色常性是指 Retinex 算法处理过的图像能消除照明对成像颜色的影响。

1.2 Retinex 增强算法

Land 的中心/围绕空间对立 Retinex 理论,即单尺度 Retinex (Single-Scale Retinex, SSR) 可以表示为:

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

$$i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

其中: $R_i(x, y, \sigma)$ 表示第 i 个颜色分量 Retinex 算法输出结果, $I_i(x, y)$ 表示第 i 个颜色分量的图像, $*$ 表示卷积算子, i 表示三种颜色分量, $F(x, y, \sigma)$ 表示中心/围绕函数,即:

$$F(x, y, \sigma) = K e^{-(x^2+y^2)/\sigma^2} \quad (5)$$

σ 是高斯函数的尺度参数, K 由归一化函数决定:

$$\iint F(x, y, \sigma) dx dy = 1 \quad (6)$$

为了提供视觉可接受的动态压缩范围与彩色图像再现之间的平衡,文献[6]提出了多尺度 Retinex (Multiscale Retinex, MSR) 算法。MSR 就是不同的通道单尺度 Retinex 输出赋予权重系数后的总和,其基本形式是

$$R_{M_i}(x, y, w, \sigma) = \sum_{n=1}^N w_n R_i(x, y, \sigma_n); \quad i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

其中: $R_{M_i}(x, y, w, \sigma)$ 表示是第 i 个颜色分量的 MSR 输出结果; $w = (w_1 + w_2 + \dots + w_N)$ 中的 w_n 表示第 n 个 SSR 的权值,同时 $\sum_{n=1}^N w_n = 1$, 通常 $w = 1/N$; $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_N)$ 中的 σ_n 表示第 n 个 SSR 的尺度参数,如果 $N = 3$, σ 常取 15、80、250。为了处理彩色图像,进一步提出了多尺度彩色复原算法 (Multi-Scale Retinex Color Restoration algorithm, MSRCR)^[12], 它是在多尺度 Retinex 基础上考虑色彩的结果,如式(8):

$$R_{MC_i}(x, y, w, \sigma, c) = R_{M_i}(x, y, w, \sigma) \cdot I'_i(x, y, c) \quad (8)$$

$$I'_i(x, y, c) = \log(1 + c \cdot I_i(x, y) / \sum_{i=1}^3 I_i(x, y)) \quad (9)$$

其中: $R_{MC_i}(x, y, w, \sigma, c)$ 表示彩色图像第 i 个分量输出结果; $I'_i(x, y, c)$ 称为彩色恢复函数,用来调节三颜色分量的比例 ($i = 1, 2, 3$); c 为颜色校正系数,常取 125。

1.3 Retinex 增强算法物理意义及不足

Retinex 算法的物理意义是,中心/围绕函数相当于一个低通滤波器的核,在对数空间中,将原图像减去中心/围绕函数与原图像的卷积的值,实际上原图像被减除了平滑的部分。中心/围绕函数的尺度参数 σ 的选取不同会直接影响到被处理图像的颜色再现, σ 越小,动态范围压缩能力越强,亮度较暗区域(如阴影)的细节能得到较好地增强,但由于平均对比范围较小,输出 Retinex 会产生颜色失真;反之, σ 越大,颜色保真度越高。MSR 提供视觉可接受的动态压缩范围与彩色图像再现之间的平衡。

但是实验发现,经过 Retinex 算法处理后的图片对比度减弱,整体偏亮,颜色与原图偏移很大,甚至导致完全丢失。因此 Retinex 算法不能完全摆脱光照条件变化的影响,存在以下两点不足:

1) Retinex 增强算法用于彩色图像增强时,RGB 各颜色分

量均采取了相同算法,虽然 MSRCR 考虑到颜色的相关性,但基于“灰度世界假设”的颜色复原函数的提出尚缺乏严格的神经生理学理论支持,并未保持色调恒定,存在颜色偏移甚至失真。

2) Retinex 增强算法采用对数函数进行亮度调节,但对数函数调节能力有限。

3) Retinex 增强算法在动态范围压缩后减弱了局部的对比度,但 Retinex 增强算法并未作任何的补救。

2 颜色保持的增强算法

在 RGB 空间,三维矢量 $[R, G, B]$ 不仅表示颜色,也包含了亮度信息。如果两个像素点 $[R_1, G_1, B_1]$ 、 $[R_2, G_2, B_2]$ 在 RGB 空间的值是成比例的,即:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{B_1}{B_2} = \lambda \quad (10)$$

那么这两点具有相同的颜色,只是亮度不同,且亮度增量为 λ 。如果能找到一个亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$,就可以对原彩色图像进行增强,且增强后图像颜色信息保持不变,这样就能很好克服 Retinex 增强算法的颜色失真问题。

为了获取亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$,首先应从原彩色图像提取亮度分量。考虑到 HSV 颜色空间进行了亮度和颜色的分离,其中的 V 分量为亮度信息。于是原彩色图可灰度化为:

$$V(x, y) = \max[R(x, y), G(x, y), B(x, y)] \quad (11)$$

2.1 亮度增强

将式(4)运用到 $V(x, y)$,得:

$$EV(x, y, \sigma) = \log V(x, y) - \log [F(x, y, \sigma) * V(x, y)] =$$

$$\log \{V(x, y) / [F(x, y, \sigma) * V(x, y)]\} \quad (12)$$

但得到的 $EV(x, y, \sigma)$ 亮度增强很微弱,并且没有归一化。

神经网络算法中的非线性 sigmoid 传输函数具有比对数函数更好的亮度增强能力,且输出范围为 $[0, 1]$,该函数方程如下:

$$\text{tansig}(z) = \frac{2}{1 + e^{-2z}} - 1 \quad (13)$$

将式(12)中对数函数用非线性 sigmoid 传输函数替换后得:

$$EV(x, y, \sigma) = \text{tansig}\{V(x, y) / [F(x, y, \sigma) * V(x, y)]\} \quad (14)$$

考虑中心/围绕函数的尺度参数 σ 的选取不同会直接影响到被处理图像的颜色再现,得到多尺度亮度增强公式如下:

$$EV_M(x, y) = \sum_{n=1}^N w_n EV(x, y, \sigma_n) \quad (15)$$

其中: $EV_M(x, y)$ 表示是亮度分量多尺度增强结果; $w = (w_1 + w_2 + \dots + w_N)$ 中的 w_n 表示第 n 个亮度分量增强的权值,同时 $\sum_{n=1}^N w_n = 1$, 通常 $w = 1/N$; $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_N)$ 中的 σ_n 表示第 n 个亮度分量增强的尺度参数,如果 $N = 3$,实验表明 σ 取 30、80、160 效果较好。

图1给出了在相同尺度参数下两种函数亮度增强效果,可以看出 tansig 函数比对数函数具有更强的亮度增强能力。

2.2 局部对比度增强

通过亮度增强步骤后,虽然 V 分量中黑暗部分的亮度得到了有效增强,但是局部细节也被部分减弱。又由于中心/围绕函数相当于一个低通滤波器的核,通过中心/围绕函数与亮度增强图卷积可获得局部均值。则局部细节可由下式计算得到:

$$VL(x, y) = \frac{EV_M(x, y) - EV_{\text{avg}}(x, y)}{255} \quad (16)$$

1) Retinex 增强算法用于彩色图像增强时,RGB 各颜色分

其中 $EV_{avg}(x, y) = F(x, y, \sigma) * EV_M(x, y)$, 为了得到更多的局部细节, 中心/围绕函数的尺度参数 σ 取值范围为 $[5, 15]$ 。

因为 $-1 \leq VL(x, y) \leq 1$, 于是给定 $0 < \gamma < 1$ 利用下式可增强局部细节:

$$VL_{EN}(x, y) = \text{sign}[VL(x, y)] |VL(x, y)|^\gamma \quad (17)$$

其中 sign 为符号函数, 定义如下:

$$\text{sign}[VL(x, y)] = \begin{cases} 1, & VL(x, y) > 0 \\ 0, & VL(x, y) = 0 \\ -1, & VL(x, y) < 0 \end{cases} \quad (18)$$

图2给出了局部对比细节增强过程, 图(a)为局部均值, 图(b)为式(16)计算后局部细节, 利用式(17)可增强得到图(c)。

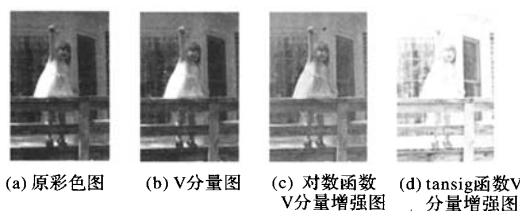


图1 相同尺度参数下两种函数亮度增强效果

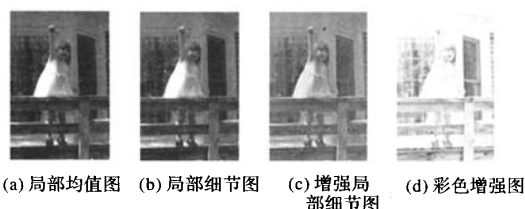


图2 局部对比度增强及彩色增强效果

2.3 彩色增强

在亮度增强和局部对比度增强后, 可获得亮度增益曲面 $\lambda(x, y) = ET(x, y) \times 255/V(x, y)$ (19)

其中:

$$ET(x, y) = [EV_M(x, y) + VL_{EN}(x, y)] / \max[EV_M(x, y) + VL_{EN}(x, y)] \quad (20)$$

表示归一化后的亮度增强和局部对比度之和。

根据前面理论可得增强的 RGB 三分量计算如下:

$$\begin{cases} R_{EN}(x, y) = \lambda(x, y) \times R(x, y) \\ G_{EN}(x, y) = \lambda(x, y) \times G(x, y) \\ B_{EN}(x, y) = \lambda(x, y) \times B(x, y) \end{cases} \quad (21)$$

增强后效果如图2(d)所示, 相对图1(a)原彩色图, 整体亮度得到明显改善, 同时抑制了女孩裙子高光区域, 突出了门窗的细节部分。下面给出彩色图像增强具体算法实现步骤:

1) 灰度化: 利用式(11)进行亮度色调分离, 将待增强彩色图像灰度化得到亮度分量 $V(x, y)$ 。

2) 亮度增强: 式(15)采用 tansig 函数改进 Retinex 算法计算获得亮度增强图 $EV_M(x, y)$ 。

3) 局部对比度增强: 式(17)利用中心/围绕函数估计均值曲面并求差后取得局部对比度增强图 $VL_{EN}(x, y)$ 。

4) 求亮度增益曲面: 式(19)根据亮度增强及局部对比度增强之和与原图灰度化亮度分量相比得亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$ 。

5) 彩色增强: 最后式(21)利用亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$ 分别增强 RGB 三分量, 得最终增强结果。

3 实验结果及分析

用大量的图像对本文所提出的算法进行了实验, 结果表万方数据

明有较好的效果。现以以下几幅图为例, 进行说明和比较。对比实验采用的图片全部来自美国 NASA Langley Research Center, 可从 <http://dragon.larc.nasa.gov/retinex/pao/news/> 获取, 这些图片为对比度低、某些局部细节不突出的部分偏暗彩色图像; 对比实验中 NASA Technology 算法结果也由此获得, 该算法已商业化, 并成功运用在 Truview 公司的 PhotoFlair 软件中, 无法获取技术细节^[8]。MSRCR 结果由 http://www.tsi.enst.fr/tsi/enseignement/ressources/mti/retinex/multi_scale_alg.htm 下载源代码计算给出, 其中相关参数取文中常值。

为了客观的评价图像亮度和对比度改变, Jobson 等文献^[9]提出一种按照图像的均值和局部方差均值度量的方法, 即:

$$C = \frac{\overline{\text{Var}}(I_{out}(x, y)) - \overline{\text{Var}}(I_{in}(x, y))}{\overline{\text{Var}}(I_{in}(x, y))} \quad (22)$$

$$L = \frac{\overline{\text{Mean}}(I_{out}(x, y)) - \overline{\text{Mean}}(I_{in}(x, y))}{\overline{\text{Mean}}(I_{in}(x, y))} \quad (23)$$

其中, $I_{in}(x, y)$ 为处理前图像, $I_{out}(x, y)$ 为增强后图像, $\overline{\text{Var}}$ 和 $\overline{\text{Mean}}$ 表示求局部方差的均值和均值, C 为对比度改变比例, L 为亮度改变比例。

为了测试颜色的色调改变, 仿照前面方法提出一种度量色调改变的方法, 公式如下

$$H = \frac{\overline{\text{Mean}}(H_{out}(x, y)) - \overline{\text{Mean}}(H_{in}(x, y))}{\overline{\text{Mean}}(H_{in}(x, y))} \quad (24)$$

其中, $H_{in}(x, y)$ 表示处理前彩色图像在 HSV 空间的色调 (Hue) 分量, $H_{out}(x, y)$ 表示增强后彩色图像在 HSV 空间的色调 (Hue) 分量, H 为色调改变比例。



图3 三种算法效果

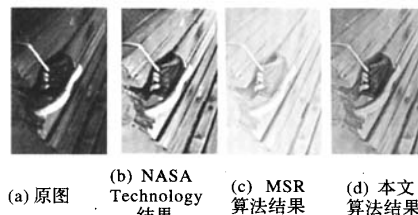


图4 三种算法效果

图3和4给出了三种算法效果图, 对比可以看出 NASA Technology 算法及本文算法结果图像从整体图像的视觉和色彩效果优于 MSRCR 算法。NASA Technology 算法结果图像仍有部分区域较暗, 细节不突出; MSRCR 算法结果图像基本无暗区域, 但对比度低, 图像整体偏亮, 颜色失真严重。本文算法(图3)结果中, 塔身高光被抑制, 房子左侧树木等暗区域相比 NASA Technology 算法结果被更好地呈现出来, 树木颜色翠绿自然; 本文算法(图4)结果中, 鞋边高光被抑制, 鞋尖上方木头暗区域被更好地呈现出来, 鞋边的污泥细节部分清晰。本文算法能提高了暗区域亮度, 同时抑制了高亮区域, 细节突出, 颜色保证度高。

表2列出了式(22)~(24)给出的三种增强算法客观参数值, NASA Technology 算法对比度最好, 亮度适中, 色调保真适中; MSRCR 算法具有最好的亮度增强效果, 但是对比度反而降低, 色调改变较大; 本文算法由于抑制了高亮区, 亮度改

变适中,对比度增强居中,色调改变极少,少于1%,故本文算法色调保真度最高。

表2 三种增强算法的C、L、H值比较

算法	图3			图4		
	C	L	H	C	L	H
NASA Technology 算法	1.0111	0.8810	0.0036	0.6298	0.5850	0.0803
MSR 算法	-0.2886	1.4839	-0.0756	-0.2157	1.4283	0.0540
本文算法	0.5234	0.7475	0.0014	0.1423	0.7642	0.0018

4 结语

根据 RGB 颜色空间三分量颜色相关性特点,提出一种颜色保持的彩色图像增强新算法,采用非线性 sigmoid 传输函数多尺度增强亮度分量,同时考虑了局部对比度后得到亮度增益曲面,利用亮度增益曲面对原彩色图像 RGB 三颜色分量同比增强,保证了颜色恒定不失真。实验结果表明,该算法对于增强彩色图像具有很好的色调保持性,同时抑制了高亮部分,增强了暗区域部分,突出了局部细节,提高了图像的全局和部分可视性。

参考文献:

[1] 章毓晋. 图像工程:上册[M]. 北京:清华大学出版社,1999:96-98.

[2] LAND E. The retinex[J]. American Scientist, 1964, 52(1): 247-264.

[3] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Multiscale retinex for color image enhancement[C]// IEEE Proceedings of the 1996 International Conference on Image Processing. Switzerland: IEEE, 1996, 3: 1003-1006.

[4] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Retinex processing for automatic image enhancement[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110.

[5] McCANN J J, McKEE S P, TAYLOR T H. Quantitative studies in retinex theory[J]. Vision Research, 1976, 16(5): 445-458.

[6] JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODDELL G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.

[7] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Retinex processing for automatic image enhancement[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110.

[8] 倪国强, 肖蔓君, 胡宏清, 等. 基于视觉特性的真实影像再现技术进展及展望[J]. 中国激光, 2007, 34(4): 451-460.

[9] JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODDELL G A. The statistics of visual representation[C]// Proceedings of SPIE Visual Information Processing XI. Washington: SPIE Press, 2002: 25-35.

(上接第447页)

256个节点, CPU为3.0 GHz, 每个节点内存为1 GB, 采用高速的 Myrinet2000(传输速率2 Gbps)互联。用 MPICH^[7] 分别开发出我们提出的基于多级队列的区域生长(Multi-queue region growing, MLQ)算法和一般的基于单队列的区域生长(Single-queue regional growth, SQ)算法, 进行性能测试和对比。为了使得实验结果更准确, 每一个实验结果都为50次实验的平均值。

并行算法的性能度量指标包括: 执行时间、总并行开销、加速比、效率、成本等^[6]。在实验中, 我们比较 MLQ 算法和 SQ 算法的加速比。并行算法的加速比简单的说就是指对于一个给定的应用, 并行算法的执行速度相对于串行算法的执行速度加快了多少倍, 它是衡量并行算法性能的主要指标。

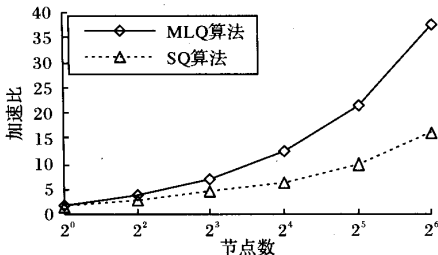


图2 不同节点数下的加速比

在实验中, 我们采取大小为 5 000 × 10 000 的遥感图像作为输入图像, 让计算节点数在 2~64 变动, 观察不同节点数下的加速比, 图2为实验结果。从图2可以看出, MLQ 算法的加速比相比 SQ 算法有显著提高。如8个节点时, MLQ 算法的加速比为7.08, 而 SQ 算法的加速比只有4.42, 两者之比约为1.6。因为 SQ 算法中只采用一个队列存放种子像素, 越界种子像素的生成较迟, 从而增加了邻居节点的等待时间。而 MLQ 算法采用多级队列, 优先生长边界种子像素, 从而加速

越界种子像素的生成。

此外可以看出, 在节点数较少时 MLQ 算法接近线性加速比, 在节点数增多时, 每个计算进程的计算量变小, 而通信量变化不大, 造成通信代价相对增大, 因此算法的效率有所下降。但在节点数较多时, MLQ 算法仍然有较高的加速比, 显示出较好的可扩展性。如64个节点时, MLQ 算法的加速比仍然可以达到37.62。

4 结语

本文通过对影响并行区域生长性能的三个关键因素即任务分配、通信和同步进行了分析研究, 提出了基于多级队列的并行区域生长算法。此算法以带状子图划分方式分配任务, 通过管理进程集中交换越界种子像素, 采用多级队列存放待生长的种子像素, 优先生长边界种子像素, 以尽快生成越界种子节点, 减少邻居节点等待时间。实验表明, 此算法获得了很好的性能, 相比一般的基于单队列的算法, 加速比有显著提高, 且可扩展性较好。

参考文献:

[1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 67-70.

[2] 陈忠, 赵志明. 基于区域生长的多尺度遥感图像分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2005(35): 7-9.

[3] 陆剑锋, 林海, 潘志庚. 自适应区域生长算法在医学图像分割中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(10): 2168-2173.

[4] 徐杰, 施鹏飞. 基于相位一致与区域生长的自然彩色图像分割[J]. 电子学报, 2004, 23(7): 1203-1205.

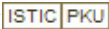
[5] 周赞, 李久贤, 夏良正. 基于区域生长的红外图像分割[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(S1): 75-78.

[6] 陈国良. 并行算法的设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

[7] 都志辉. 高性能计算之并行编程技术: MPI 并行程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

作者: 赵全友, 潘保昌, 郑胜林, 战荫伟, ZHAO Quan-you, PAN Bao-chang, ZHENG Sheng-lin, ZHAN Yin-wei

作者单位: 赵全友, 郑胜林, ZHAO Quan-you, PAN Bao-chang, ZHENG Sheng-lin, ZHAN Yin-wei (广东工业大学, 信息工程学院, 广州, 510006), 潘保昌, 战荫伟 (广东工业大学, 计算机学院, 广州, 510006)

刊名: 计算机应用 

英文刊名: JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS

年, 卷(期): 2008, 28 (2)

被引用次数: 5次

参考文献(9条)

1. 章毓晋 图像工程 1999
2. LAND E The retinex 1964(01)
3. RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODSELL G A Multiscale retinex for color image enhancement 1996
4. RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODSELL G A Retinex processing for automatic image enhancement[外文期刊] 2004(01)
5. McCANN J J, McKEE S P, TAYLOR T H Quantitative studies in retinex theory 1976(05)
6. JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODSELL G A Properties and performance of a center/surround retinex[外文期刊] 1997(03)
7. RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODSELL G A Retinex processing for automatic image enhancement[外文期刊] 2004(01)
8. 倪国强, 肖蔓君, 胡宏清 基于视觉特性的真实影像再现技术进展及展望[期刊论文]-中国激光 2007(04)
9. JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODSELL G A The statistics of visual representation[外文会议] 2002

引证文献(5条)

1. 王小明, 黄昶, 李全彬, 刘锦高 改进的多尺度Retinex图像增强算法[期刊论文]-计算机应用 2010(8)
2. 窦易文, 周鸣争, 卢桂馥 基于神经网络的低照度真彩色图像增强[期刊论文]-计算机工程与设计 2010(12)
3. 余奔, 刘一清, 张应均 基于FPGA的彩色图像增强系统[期刊论文]-电子设计工程 2010(6)
4. 蔡利梅, 钱建生, 罗驱波, 夏林稳, 张明胜 一种基于色彩保持的低照度图像增强算法[期刊论文]-计算机应用与软件 2009(3)
5. 黄黎红 一种基于单尺度Retinex的雾天降质图像增强新算法[期刊论文]-应用光学 2010(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyy200802054.aspx