

文章编号 1004 924X(2004)03 0323-07

正交边缘投影快速算法在胶片弊病识别中的应用

梁 燕, 刘文耀

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

摘要: 为实现对胶片弊病的实时识别, 提出了一种正交边缘投影快速检测算法。基于对红外胶片图像特点的分析, 通过综合运用邻域平均、边缘检测和投影法等图像处理技术, 实现了对胶片弊病的快速、准确识别, 并据此算法编制了相应的 VC++ 程序。该算法保证实时的关键是将二维图像投影为两个一维信号进行处理, 该算法还可根据实际需要实现功能扩展, 用于确定弊病的大小及严重程度。通过在乐凯胶片集团公司的在线实验, 证明其能够准确检测出各种典型的胶片弊病, 处理一帧大小为 659×494 像素的图像只需 20 ms。

关键词: 图像分割; 投影; 边缘检测; 胶片弊病

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Fast orthogonal edge projection algorithm for inspection of film defects

LIANG Yan, LIU Wenyao

(College of Precision Instruments and Optoelectronic Engineering,
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A fast orthogonal edge projection algorithm is proposed for real time inspection of film defects on production line. By analyzing the characteristics of infrared images of film, using image processing techniques including neighborhood averaging, edge detection and projection method, etc., and compiling the VC++ program film defects are quickly identified. In this process, the key is the projection method that transforms two-dimension images into two one-dimension vectors. Furthermore, new functions, such as evaluation of defect area and severity can be added to the algorithm in accordance with the actual requirements. On line experiments in Lucky Film Corp. proved that the algorithm can detect all kinds of film defects and process a 659×494 image within 20 ms.

Key words: image segmentation; projection; edge detection; film defect

1 引 言

在彩色胶片生产的过程中, 监控胶片质量的传统方法是由技工通过人眼直接观察胶片图像,

效率低、精度差。因此, 有必要开发一种计算机视觉系统来取代人的视觉, 从而提高产品质量和检测速度, 实现标准化, 增强产品的竞争力。

为避免胶片曝光, 被检胶片需在红外 LED 面光源的照射下通过 CCD 成像, 所成红外图像具有

如下特点: 首先, CCD 增益的提高, LED 光源照明的不均匀性以及胶片颗粒形成的散斑效应等都会在不同程度上增强图像的噪声; 其次, 由于 CCD 光敏面内的成像像元远离光学透镜系统的成像光轴时, 其光照度将按 $\cos \omega^4$ (ω 是考察点对应的视场角) 的速度递减, 使得图像的边缘照度低于中心照度。另外, 生产中要求检测速度不低于 60 m/min, 如将 35 mm 胶片的宽度方向满幅映射到 CCD 所成图像的宽度方向, 则系统的处理速度不应低于 25 帧/s^[1]。图像像质的恶化以及检测速度的要求均给算法设计带来了困难, 到目前为止, 这类图像没有标准的算法。本文以滤波、分割、投影技术为基础, 提出了一种正交边缘投影快速检测算法, 实现了对胶片弊病的准确识别, 尤其是该算法的高速度适合动态检测, 有着较高的实用价值。

2 算法原理及实现

2.1 滤波消噪

本算法的目的是判断一幅胶片图像中是否存在弊病。这就要求首先对图像进行分割, 其目标是一帧胶片中的弊病区域(无法预知是否存在), 背景则是无弊病区域。

为了消除噪声的干扰, 在分割前需对图像进行滤波。一般情况下, 选用保边性能较好的中值滤波有利于下一步对图像进行边缘检测。但是, 中值滤波需对滤波窗口内的像素进行排序, 以 3×3 窗口为例, 用起泡法对 9 个像素进行排序需要 36 次比较运算、108 次赋值运算, 那么对于一幅 $N \times M$ 的图像, 就需要 $36(N-2)(M-2)$ 次比较运算, $108(N-2)(M-2)$ 次赋值运算, 这对于大图像来说, 计算量是很大的, 超出了本算法对检测时间的要求。使用邻域平均法对图像进行增强, 同样可以滤掉大部分的随机噪声, 只是会对图像产生一定程度的模糊, 但这并不影响检测的结果, 运算速度却明显优于中值滤波。设原图像为 $f(x, y)$, 其中 $x = 0, 1, \dots, A-1, y = 0, 1, \dots, B-1$, 邻域平均模板为 $g(k, l)$, 其中 $k = 0, 1, \dots, C-1, l = 0, 1, \dots, D-1$, 则滤波增强后的图像表示为:

$$f'(i, j) = f_e(i, j) * g_e(i, j) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1}$$

$$f_e(n, m) g_e(i-n, j-m)$$

$$i = 0, 1, \dots, N-1; j = 0, 1, \dots, M-1, \quad (1)$$

其中, “*” 表示卷积操作, $f_e(i, j)$ 和 $g_e(i, j)$ 是 $f(x, y)$ 和 $g(k, l)$ 延伸为在 x 和 y 方向分别具有周期 N 和 M 的函数, 周期 N 和 M 分别由式(2)和式(3)确定:

$$N = A + C - 1, \quad (2)$$

$$M = B + D - 1. \quad (3)$$

函数延伸的方法为:

$$f_e(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & 0 \leq i \leq A-1 \text{ 和 } 0 \leq j \leq B-1 \\ 0, & A \leq i \leq N-1 \text{ 和 } B \leq j \leq M-1, \end{cases} \quad (4)$$

$$g_e(i, j) = \begin{cases} g(i, j), & 0 \leq i \leq C-1 \text{ 和 } 0 \leq j \leq D-1 \\ 0, & C \leq i \leq N-1 \text{ 和 } D \leq j \leq M-1. \end{cases} \quad (5)$$

实用中选用的邻域平均模板为

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 由于模板的各个参数均为 } 1, \text{ 对}$$

于一幅 $N \times M$ 的图像, 该算法只需 $8(N-1)(M-2)$ 次加法和 $(N-2)(M-2)$ 次除法操作。进一步将二维模板分解成两个一维模板, 即:

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \times [1 \ 1 \ 1], \quad (6)$$

这样, 改进后将要进行 $4(N-2)(M-1)$ 次加法和 $(N-2)(M-2)$ 次除法运算, 减少了不少次加法运算, 进一步提高了运算速度。

2.2 图像分割

图像分割^[2,4]是计算机视觉领域低层次视觉中的主要问题, 同时又是一个经典难题。在过去的几十年里, 研究人员提出了许多方法, 包括阈值法、边缘算子法、标号法、区域增长法以及基于神经网络和小波变换的算法等。通常这些算法只对某类图像有较好的效果, 且绝大部分算法原理复杂、计算量大, 难以做到实时。

鉴于本系统对速度的要求, 固定阈值法是最简单快速的分割方法, 但是由于图像照度的不均匀以及噪声的影响, 直接采用固定阈值进行分割显然是不行的。通过对大量弊病样本图像的调查发现, 这些弊病的边缘与背景区域具有一定的梯度, 可以通过适当的边缘检测算子提取弊病边缘, 然后配合二值化对图像进行分割。

由于不需要识别弊病的具体形状, 提取后的弊病边缘^[5]不要求边界的连续性, 只要边界像素的密度远高于周围噪声像素的密度即可。由于原始图像已经通过滤波消噪, 要做到这一点并不难。采用传统的 Sobel 算子提取弊病的边缘, 它对各种典型的弊病均有良好的检测效果。

$$S(i, j) = \text{Sobel}(f'(i, j)), \quad i = 0, 1, \dots, N-1$$

$$j = 0, 1, \dots, M-1, \quad (7)$$

其中 $f'(i, j)$ 为滤波增强后的图像, 大小为 $N \times M$; $\text{Sobel}(\cdot)$ 为边缘检测算子; $S(i, j)$ 为边缘检测后所得的梯度图像(包括边缘点和噪声点)。Sobel 算子由两个 3×3 的卷积核组成, 一个对通常的垂直边缘响应最大, 另一个对水平边缘响应最大, 两个卷积的最大值作为该像素的输出值。胶片涂布乳剂的生产工艺决定了绝大多数的弊病是沿水平方向伸展成条带状或块状, 因此 Sobel 算子的水平卷积核能够发挥更大的作用。

得到边缘图像后, 通过设定一个阈值 T 即可将梯度图像转化成二值图像。大于阈值 T 的所有像素作为目标区域, 小于等于阈值 T 的像素则组成背景区域, 即

$$g_T(i, j) = \begin{cases} 255 & S(i, j) > T \\ 0 & S(i, j) \leq T, \end{cases} \quad (8)$$

其中阈值 T 与红外光源的强度、CCD 的增益大小和成像物镜的通光量等因素有关, 由技术人员按照下述算法预先确定。

设有 N 幅已知的弊病样本图像, 每幅图像所含的弊病形态各不相同。对其中任意一幅 $N_n \times M_n$ 大小的图像 $f_n(i, j)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$; $i = 0, 1, \dots, N_n-1$; $j = 0, 1, \dots, M_n-1$; 灰度级数记为 L ; $p(k)$ 为灰度值为 k 的像素出现的频率, 则有:

$$p(k) = \frac{1}{N_n M_n} \sum_{f_n(i, j) = k} 1, \quad (9)$$

假设用灰度值 t 为阈值分割出的目标与背景分别为: $\{f_n(i, j) | f_n(i, j) \leq t\}$ 和 $\{f_n(i, j) | f_n(i, j) > t\}$, 则:

目标部分比例: $\omega_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} p(i);$

背景部分比例: $\omega_1(t) = \sum_{t < i \leq L-1} p(i), \quad (10)$

目标均值: $\mu_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} ip(i) / \omega_0(t);$

背景均值: $\mu_1(t) = \sum_{t < i \leq L-1} ip(i) / \omega_1(t), \quad (11)$

总均值: $\mu = \omega_0(t) \mu_0(t) + \omega_1(t) \mu_1(t), \quad (12)$

按传统的 Otsu 方法^[6]求图像最佳阈值 T_n 的公式为:

$$T_n = \text{Arg} \text{Max}_{0 \leq t \leq L-1}$$

$$[\omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu)^2 + \omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu)^2], \quad (13)$$

按照式(13)对 N 幅图像进行求解, 便得到 N 幅图像的最佳阈值分别为 T_1, T_2, \dots, T_N 。假设 T_1, T_2, \dots, T_N 中的最大值为 T_{Max} , 最小值为 T_{Min} , 则以 T_{Max} 和 T_{Min} 为端点构成最佳阈值灰度区间 $G = [T_{\text{Min}}, T_{\text{Max}}]$, 且 $\{T_1, T_2, \dots, T_N\} \subset G$ 。任取 $T_i \in G$ 且 $0 \leq i \leq L' - 1$, L' 是区间 G 所含的灰度级数。类似于数学上的最小二乘法, 二值化阈值 T 可由式(14)和式(15)得出:

$$T = \text{Arg} \text{Min}_{0 \leq i \leq L'-1} \left\{ \sum_{1 \leq n \leq N} K_n [\sigma_B^2(T_i) - \sigma_B^2(T_n)]^2 \right\}, \quad (14)$$

$$\sigma_B^2(t) = \omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu_t)^2 + \omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu_t)^2, \quad (15)$$

其中, K_n 是每幅图像的权值, 反映每类弊病在生产中出现的概率大小; $\sigma_B^2(t)$ 代表用阈值 t 分割出的目标和背景的类型方差值。式(14)求得的阈值 T 是使各类弊病图像同时达到较好分割效果的最优解。显然, 弊病样本图像数 N 越大, 求得的阈值 T 越可靠。

2.3 投影检测^[7]

二值图像的目标区所形成的弊病边缘往往是不连续的, 在局部看来很难与噪声点进行区分。如果采用二次滤波, 则在滤除噪声的同时也将使信号明显的衰减, 而且滤波的尺度很难把握。如果采用二值图像的边界追踪算法, 则算法的复杂度和时间代价是高速实时检测难以接受的。当用人眼观察二值图像时, 很容易断定其中是否存在弊病边缘。这是因为人脑是从统计的观点, 综合分析整幅图像的信息后得出的结论。由此想到利用投影法, 它是根据图像在一些方向上的投影的分布特征来进行检测的, 本质上是一种简单的统计方法。它不要求边界的连续性, 只要求边界像素的分布密度远大于噪声点的分布密度, 运用于此的实质就是把弊病的局部作用效应累积放大, 以便于识别。

图 1 是投影法的原理示意图, 如图 1 所示。 t 轴垂直于 s 轴, t 轴与 x 轴的夹角为 θ , 由几何关系有:

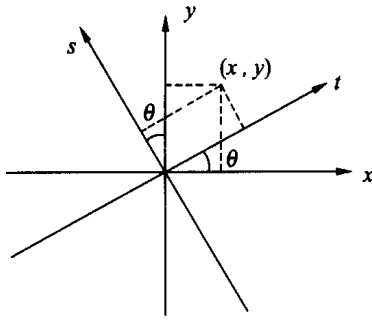


图 1 投影法原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of projection method

$$\begin{cases} s = y \cos \theta - x \sin \theta \\ t = y \sin \theta + x \cos \theta, \end{cases} \quad (16)$$

从式(16)可得

$$\begin{cases} x = t \cos \theta - s \sin \theta \\ y = t \sin \theta + s \cos \theta, \end{cases} \quad (17)$$

沿任意方向 s , 图像 $g(x, y)$ 的投影可表示为:

$$P_{\theta}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t \cos \theta - s \sin \theta, t \sin \theta + s \cos \theta) ds, \quad (18)$$

同理, 沿 t 方向的投影为:

$$P_{\theta}(s) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t \cos \theta - s \sin \theta, t \sin \theta + s \cos \theta) dt, \quad (19)$$

为了简单, 在本算法中设 $\theta = 0$, 即向 x 轴和 y 轴投影, 同时考虑到是数字图像, 积分可用和式来代替。设图像分割后获得的二值图像为 $g_T(i, j)$, 大小为 $N \times M$, 记第 i 列的非零像素点的数目为 $p_x(i)$, 第 j 行的非零像素点的数目为 $p_y(j)$, 则:

$$p_x(i) = \sum_{j=0}^{M-1} g_T(i, j) / 255, \quad i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (20)$$

$$p_y(j) = \sum_{i=0}^{N-1} g_T(i, j) / 255, \quad j = 0, 1, \dots, M-1. \quad (21)$$

投影运算将对二维图像的处理简化成对一维信号的处理, 是本算法实现实时的关键。鉴于胶片的生产工艺决定了弊病大部分沿水平方向伸展, 故本算法只在水平和垂直两个方向上进行投影, 完全能够满足生产要求。如图 2(e) 和图 2(f) 所示, 投影图可被看作是投影值的一维直方图, 以垂直投影图为例, 横坐标代表宽度, 纵坐标代表频数。如果胶片上没有弊病, 则所成图像的灰度应

该是均匀的, 这样在投影图的任意宽度上所对应的非零像素点的频数应该是基本相同的; 如果胶片上存在弊病, 图像上弊病区域的灰度会产生变化, 投影图的相应宽度处的非零像素点的频数将高于周围区域的频数, 表现在投影图上就是存在一个脉冲。通过设定一个适当的阈值, 就可检测出脉冲是否存在。

2.4 算法编程技巧

采用 Visual C++ 6.0^[8] 实现了上述算法。在编程过程中, 将边缘检测、二值化和正交投影法的实现过程彼此交融在一起, 从而构成了一个真正意义上的正交边缘投影算法。该算法结构紧凑、语句简练, 有效地提高了算法的执行速度。下面列出一段正交边缘投影算法的例程, 可以看出: 从第 17 行到第 25 行仅仅用了两个 if 语句, 就包容了二值化、投影和弊病判别的全部内容, 程序非常精炼; 另外, 最后一条 break 语句使程序在检测到某一行(某一列)存在弊病时立即跳出循环, 不再对图像的其他部分继续检测, 从而提高了算法执行速度。

```

for (i = 1; i < Height; i++)
{
    BlackNumber = 0;
    for(j = 1; j < IWidth; j++)
    {
        // 某一像素点的 Sobel 边缘检测结果
        fResult = 0;
        // 指向源图像第 i-1 行, 第 j-1 个像素的指针
        lpSrc = (unsigned char *) lpDIBBits +
            IWidth * (IHeight - i) + j - 1;
        fResult = (*lpSrc) + 2 * (*lpSrc + 1) +
            (*lpSrc + 2);
        // 指向源图像第 i+1 行, 第 j-1 个像素的指针
        lpSrc = (unsigned char *) lpDIBBits +
            IWidth * (IHeight - i + 2) + j - 1;
        fResult += (*lpSrc) + 2 * (*lpSrc + 1) +
            (*lpSrc + 2);
        // 取绝对值
        fResult = (FLOAT) fabs(fResult);
        // fResult 小于二值化阈值 bThre, 则黑点数加 1
    }
}

```

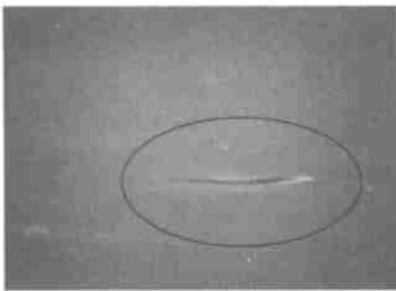
```

if( fResult< bThre)           //17行
  lBlackNumber+ + ;
}
//如果黑点数小于投影阈值 HThre, 则弊病
标志设为 TRUE
if( lBlackNumber< HThre)
{  defect= TRUE;
  //只要发现一行有缺陷, 则跳出循环, 不
  进行其余行的检测
  break;
}
//25行
}

```

3 实验结果

在乐凯胶片公司的整理车间, 运用以上算法对胶片进行了实时检测。运行的硬件环境是: 联想 PC 机 (1.8 GHz 主频, 2.56 M 内存), 美国



(a) 含有弊病的胶片图像
(椭圆圈标示了弊病位置)

(a) Film image with defect
(Defect position indicated by ellipse)



(b) 3×3 邻域平均后的图像

(b) Image after 3×3 neighborhood averaging



(c) Sobel 边缘检测图像

(c) Image after edge detection by Sobel gradient operator



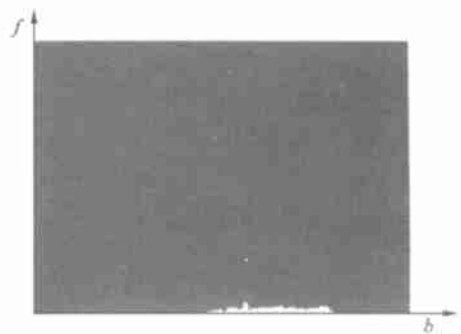
(d) 二值图像(阈值 T= 40)

(d) Binary image(threshold T= 40)



(e) 水平投影图

(e) Horizontal projection image



(f) 垂直投影图

(f) Vertical projection image

图 2 含有弊病的胶片图像处理过程

Fig. 2 Processing of film image with defect

UNIQ 公司生产的 CCD 摄像头 UP-600, 加拿大 Martrux 公司生产的图像采集卡 Meteor2/digital, 日本精工的 8 mm 镜头。

实验中胶片以 60 m/min 的最高速度在检验机上运转。图像分割采用的二值化阈值 $T=40$ 。经过长时间的连续运行显示, 该算法能够检测出各种典型的胶片弊病, 检测速度符合生产要求, 处理一帧 659×494 大小的图像平均只需 20 ms 时间。

图 2 是含有磨砂点弊病的胶片图像及各步算法处理的结果。从图 2(e) 中可以清楚地判断出该帧胶片含有呈水平方向的条带状弊病。

4 算法功能的扩展

上述算法的功能是判断一幅胶片上是否存在弊病, 即检测结果只有两种状态: “有”或“无”。在某些情况下, 比如在生产中连续出现弊病, 废片率超出正常范围时, 技术人员可能需要了解所出现弊病的一些性质, 如弊病大小、弊病的严重程度等。

在现有算法的基础上, 通过扩展可使算法实现上述功能。从图 2 的水平投影图和垂直投影图可以看出, 水平投影图中脉冲的宽度反映了弊病的宽度, 垂直投影图中脉冲的宽度则相应反映了弊病的长度。当两幅投影图中只有一幅存在脉冲时, 说明弊病是一个连续弊病, 贯穿整幅图像, 从

而可将弊病大小近似用一个矩形区域的面积代替, 这样的近似是符合实际生产情况的。另外, 从投影图上脉冲的高度可以初步判别弊病的严重程度, 脉冲越高, 说明弊病的持续范围大, 胶片色度很不均匀, 乳剂层破坏程度高; 反之, 说明弊病比较轻微。当然, 需要专业胶片生产人员根据长期的经验才能确定脉冲高低与弊病严重程度的具体关系。需要说明的是, 以上功能的实现均是以延长算法计算时间为代价的, 可根据生产的实际情况适当选用。

5 结 论

本文在融合几种图像处理技术的基础上, 提出了用于胶片弊病识别的正交边缘投影快速算法。该算法首先对图像滤波消噪, 接着提取目标边缘, 将梯度图像转化成二值图像, 最后通过水平和垂直两个方向的投影运算检测弊病是否存在, 其中将二维图像投影到一维信号进行处理是实现实时的关键。该算法具有原理简单、速度快、可靠性高和实用性强的特点, 经实际生产验证其是十分有效的, 处理一帧 659×494 大小的图像平均只需 20 ms。根据实际需要, 该算法还可在现有基础上实现功能扩展, 用于识别弊病大小、确定弊病严重程度等。本文提出的算法适用于对处理速度要求较高的场合, 具有很好的实用价值。

参考文献:

- [1] LIANG Y, LIU W Y, LIU M, *et al.* A new style defect inspection system of film[J]. *SPIE*, 2002, 4921: 89-96.
- [2] 罗希平, 田捷, 诸葛婴, 等. 图像分割方法综述[J]. 模式识别与人工智能, 1999, 12(3): 300-312.
LUO X P, TIAN J, ZHU G Y, *et al.* A survey on image segmentation methods[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1999, 12(3): 300-312. (in Chinese)
- [3] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 9-12.
ZHANG Y J. *Image segmentation*[M]. Beijing: Science Press, 2001. 9-12. (in Chinese)
- [4] 刘桂雄, 申柏华, 冯云庆, 等. 基于改进的 Hough 变换图像分割方法[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(3): 257-260.
LIU G X, SHEN B H, FENG Y Q, *et al.* Study of image segmentation based on improved Hough transform[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(3): 257-260. (in Chinese)
- [5] 赵巨波, 孙华燕, 杜巍. 一种图像边缘特征提取算法[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(4): 325-327.
ZHAO J B, SUN H Y, DU W. Edge feature extraction method for image[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(4): 325-327. (in Chinese)
- [6] 付忠良. 图像阈值选取方法—Otsu 方法的推广[J]. 计算机应用, 2000, 20(5): 37-39.
FU ZH L. Image threshold selection methods extension of Otsu's method[J]. *Computer Applications*, 2000, 20(5): 37-39. (in Chinese)

- [7] 艾海舟,王栓,何克忠. 基于差分图像的人脸检测[J]. 中国图像图形学报, 1998, 3(12): 987-992.
AI H ZH, WANG SH, HE K ZH. Difference picture based face detection[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1998, 3(12): 987-992. (in Chinese)
- [8] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.
HE B, MA T Y, WANG Y J, *et al.* *Visual C++ digital image processing* [M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Press, 2001. (in Chinese)

作者简介:梁燕(1977-),女,黑龙江呼玛人,天津大学精密仪器与光电子工程学院博士研究生,主要研究方向为图像处理及光电检测;E-mail: yan_liang@eyou.com

刘文耀(1944-),男,河北人,现为天津大学精密仪器与光电子工程学院教授,博士生导师,主要研究方向为光电图像信息处理及应用。