

基于小波多分辨率分析的 PDF417 定位算法

吕佩卓¹ 赖晓铮¹ 赖声礼¹

摘要 为提高二维条码自动检测定位的效率, 提出了一种利用小波多分辨率分析进行 PDF417 二维条码自动检测定位的新方法, 该方法在高频子图基于特征向量利用纹理相似性原理, 采用区域增长法产生二维条码数据区域的候选子区域集合, 然后在低频子图利用二维条码的起始符、终止符及其边界特征对候选子区域进行验证, 最后得到二维条码在图像中的位置. 实验证明该方法能准确定位受到不同污损程度的二维条码图像, 特别在污损程度高的情况下, 该方法具有独特的优势.

关键词 小波分析, 多分辨率分析, 图像定位, 特征提取, 二维条码
中图分类号 TP391

Location Algorithm of PDF417 Based on Wavelet Multi-resolution Analysis

LV Pei-Zhuo¹ LAI Xiao-Zheng¹ LAI Sheng-Li¹

Abstract To improve the efficiency of detecting and locating PDF417 two-dimensional barcode, an automatic detecting and locating approach based on wavelet multi-resolution analysis is presented, in which the regional growth method based on feature vector and texture comparability theory is adopted to produce the candidate sub-area set of two-dimensional barcode in high frequency sub-images, and then the candidate sub-area set are verified by examining the start/stop pattern and edge characteristics of PDF417 in low frequency sub-image to gain the location of PDF417 in original image. Experiments show that the approach can detect and locate exactly the two dimensional barcode for PDF417 with different backgrounds, and is superior to the traditional algorithms in practicability.

Key words Wavelet analysis, multi-resolution analysis, image locating, feature extracting, two-dimensional barcode

一维条码自出现以来, 得到了人们的普遍关注, 发展十分迅速. 它的使用, 极大地提高了数据采集和信息处理的速度, 提高了工作效率, 并为管理的科学化和现代化做出了巨大贡献. 二维条码作为一种新的信息存储和传递技术, 从诞生之时就受到了国际社会的广泛关注. 经过几年的努力, 现已广泛地应用在国防、公共安全、交通运输、医疗保健、工业、商业、金融、海关及政府管理等领域.

通常在不同的背景下, 二维条码的自动检测定位是一个复杂的过程. 条码不仅仅是输入图像的一部分, 还往往和文本或其他图案混合在一起, 因此必须在图像中过滤掉文本和其他图案, 检测定位出二维条码. 对一维条码已经有了很多方面的研究, 包括数学形态学^[1]、神经网络^[2]、小波纹理分析^[3-4]等等. 目前, 二维条码的检测定位都是在空间域利用二维条码边界的图像特征进行的^[5-6], 该方法要求采集到的

收稿日期 2006-08-16 收修改稿日期 2007-05-25

Received August 16, 2006; in revised form May 25, 2007

广东省科技攻关项目 (2003C40406) 资助

Supported by Key Science and Technology Research Project of Guangdong Province (2003C40406)

1. 华南理工大学电子与信息学院 广州 510640

1. School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640

DOI: 10.3724/SP.J.1004.2008.00597

二维条码较完整, 图像信噪比高, 且没有什么破损; 同时图像的二值化处理会让条码部分损失很多细节信息, 严重地影响了二维条码的后续识别. 对此, 本文提出一种利用小波多分辨率分析进行二维条码自动检测定位的新方法, 该方法在高频子图基于特征向量利用纹理相似性原理, 采用区域增长法产生二维条码数据区域的候选子区域集合, 然后在低频子图利用条码的边界特征对候选子区域进行验证, 最后得到二维条码在图像中的位置.

1 PDF417 二维条码^[7]

PDF417 二维条码是我国第一个具有国家标准的二维条码. 它具有高密度、高可靠性等特点, 可以表示数据文件 (包括汉字文件)、图像、声音、指纹等信息 (如图 1 所示), 是大容量、高可靠性信息存储、携带并自动识别的理想方法.

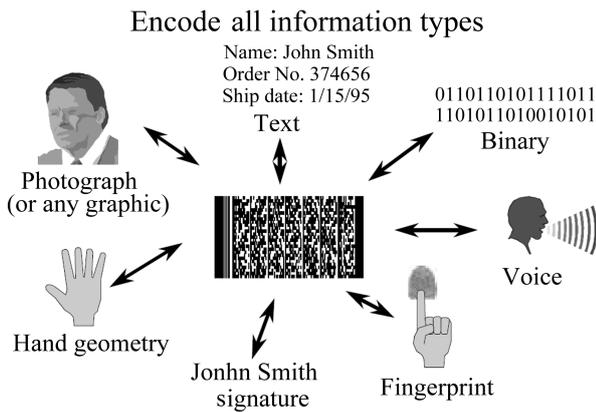


图 1 PDF417 信息存储类型
Fig. 1 Types of information stored in PDF417

PDF417 二维条码具有制作容易、成本低、可用多种设备阅读、条码符号的形状可变速等特点. 此外, PDF417 具有很强的错误纠正能力, 能防止错误而且能纠正错误, 因为 PDF417 条码采用了世界上最先进的数字纠错理论: Reed-Solomon 纠错码, 因此二维条码中由于污染、破损等丢失的信息, 可以照常被破译出. 其所能纠正的最大破坏程度, 取决于此条码中的纠错等级, 最高可达 50%, 如图 2 所示.

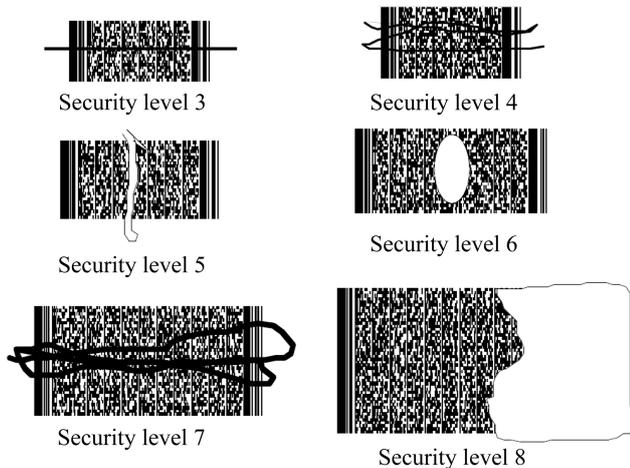


图 2 PDF417 污损纠错等级显示
Fig. 2 Grade display of PDF417 correction

2 多分辨率分析

2.1 提升算法^[8]

JPEG2000 标准采用小波变换编码, 主要使用两组默认的小波变换基, 默认的不可逆小波变换利用 Daubechies (9, 7) 滤波器, 默认的可逆小波变换采用 (5, 3) 滤波器. 由于是有限精度运算, 相对于 Daubechies (9, 7) 滤波器, (5, 3) 滤波器既可用于有损压缩, 也可用于无损压缩, 这里主要研究采用 (5, 3) 滤波器下的 JPEG2000 图像特征. 其小波变换的提升算法如下

$$Y(2n + 1) = X_{ext}(2n + 1) - \left[\frac{X_{ext}(2n) + X_{ext}(2n + 2)}{2} \right] \quad (1)$$

$$Y(2n) = X_{ext}(2n) + \left[\frac{Y_{ext}(2n) + Y_{ext}(2n + 2) + 2}{2} \right] \quad (2)$$

式 (1) 为对应于 2:1 抽取的高通滤波器输出信号, 式 (2) 为 2:1 抽取的低通滤波器输出信号, X_{ext} 为输入信号 X 的扩展.

2.2 二维条码小波分解

使用整数小波变换对图像进行多分辨率分解必须对图像进行边沿延拓, 这样可以避免处理图像边沿部分时引入噪声. 可以按照图像最边沿的像素值作对称延拓, 使用这种延拓方法不会影响图像的纹理信息.

图 3 给出了采集的含有二维条码的图像第一级分解示意图, 即小波变换后的低频子图像 LL1 和高频子图像 HL1、LH1 和 HH1. 从多分辨率分析的角度考虑小波图像的各个子图像时, 这些子图像之间是有一定联系的, 高频子图是对图像同一边缘、轮廓和纹理信息在不同方向、不同尺度和不同分辨率下由细到粗的描述, 这些子图的对应边缘、轮廓和位置是相同的. 低频子图是对图像轮廓的反映, 其图像边缘与同尺度下高频子图所含的图像边缘之间也是对应的.

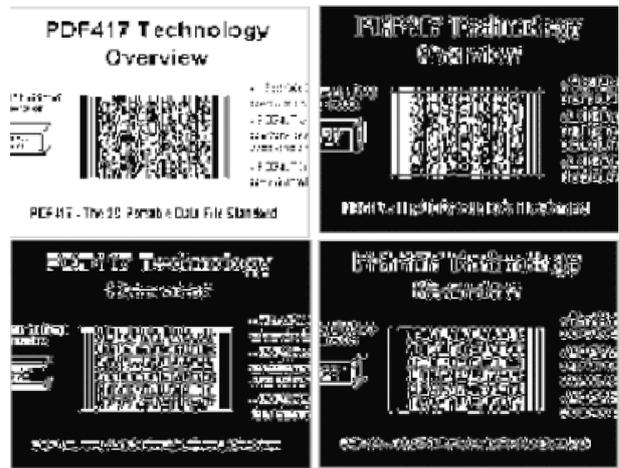


图 3 小波变换后子带图像
Fig. 3 Sub frequency images transformed using wavelet

3 二维条码特征提取和匹配

含有二维条码的图像经过小波变换后得到第一级分解的 4 个子频带图像如图 3 所示, 低频子图反映了图像的轮廓信息, 高频子图则主要反映了图像的纹理细节信息。

3.1 高频子图特征提取

图像的小波系数不能直接衡量图像的相似性, 为此借助条码图像的整数小波系数定义图像的特征向量和相似度。

1) 特征向量

为描述图像的纹理特征, 定义纹理图像的特征向量如下:

定义 1. 设 $f(x, y)$ 表示图像, $D_{2^{-i}}^1 f(x, y)$, $D_{2^{-i}}^2 f(x, y)$, $D_{2^{-i}}^3 f(x, y)$, ($i = 1, 2, \dots, N$) 表示图像第 i 次分解得到的三个高频小波系数矩阵, 其特征向量定义为

$$\mathbf{V}_i = [m(|D_{2^{-i}}^1 f|), m(|D_{2^{-i}}^2 f|), m(|D_{2^{-i}}^3 f|)] \quad (3)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, N$, $m(\cdot)$ 表示均值, 即第 i 次小波分解后某一个高频部分系数矩阵的平均值, N 为多分辨率分解的次數。按照式 (3), $f(x, y)$ 第一级小波分解后的特征向量为

$$\mathbf{V}_1 = [m(|D_{2^{-1}}^1 f|), m(|D_{2^{-1}}^2 f|), m(|D_{2^{-1}}^3 f|)] \quad (4)$$

它是一个三维向量。其平均值为

$$\bar{\mathbf{V}}_1 = \frac{m(|D_{2^{-1}}^1 f|) + m(|D_{2^{-1}}^2 f|) + m(|D_{2^{-1}}^3 f|)}{3} \quad (5)$$

2) 相似度

为了计算简单并满足相似度的定义条件, 采用如下方法定义相似度。

定义 2. 图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 第一级分解特征向量第 1 个分量的相似度为

$$\lambda_1 = \frac{\min(m(|D_{2^{-1}}^1 f|), m(|D_{2^{-1}}^1 g|))}{\max(m(|D_{2^{-1}}^1 f|), m(|D_{2^{-1}}^1 g|))} \quad (6)$$

定义 3. 两幅图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 之间的相似度定义为: $\lambda = \sum_{i=1}^N a_i \lambda_i$, 其中 $\sum_{i=1}^N a_i = 1$, 通常取 $a_i = 1/N$, λ 是相似度加权平均值。

3.2 低频子图特征提取

低频子图 (LL1) 反映原图像的轮廓, 是一个黑白对比突出的子带图像。在此子带进行垂直方向投影, 得其投影向量为

$$\mathbf{V}_P = \left[\sum_{y=1}^H |D_1 f(1, y)|, \dots, \sum_{y=1}^H |D_1 f(W, y)| \right] \quad (7)$$

其中 $D_1 f(x, y)$ 为 LL1 系数矩阵, H 和 W 分别为 LL1 的高和宽。

在计算式 (7) 的过程中, 做如下替换

$$D_1 f(x, y) = \begin{cases} 0, & D_1 f(x, y) > T_1 \\ 1, & D_1 f(x, y) \leq T_1 \end{cases} \quad (8)$$

得到 \mathbf{V}_P 后, 令 $\sum_{y=1}^H |D_1 f(i, y)| = D_i$, 再做如下转换

$$D_i = \begin{cases} 0, & \frac{D_i}{H} > T_1 \\ 1, & \frac{D_i}{H} \leq T_1 \end{cases} \quad (9)$$

其中 T 为域值 ($0.8 \leq T < 1$), 得到新的投影向量为

$$\mathbf{V}'_P = [D_1, \dots, D_i, \dots, D_W] \quad (10)$$

4 算法设计

4.1 候选区域选择

采用区域增长法^[9], 将第一级小波分解得到的三个高频子图像分成大小相等的 $M \times N$ 个子区域, 这样, 就得到对应的三组 $M \times N$ 子区域。对应于 $M \times N$ 某一位置 (x, y) 便有三个子区域, 根据式 (4) 和 (5) 计算得到一个三维向量 $\mathbf{V}_{(x,y)}$ 和 $\bar{\mathbf{V}}_{(x,y)}$ 。如果 $\bar{\mathbf{V}}_{(x,y)}$ 小于某一域值 (经统计为 $(10M \times N)/(x, y)$), 则此区域为非条码区域, 同理, 计算可得其相邻位置的向量和均值。如果两个相邻的区域都不是非条码区域, 则根据式 (6) 和定义 3, 可以计算得其相似度 λ , 如果 λ 大于某一个域值, 则合并这两个子区域。这样, 遍历整个图像, 便可得到一些包含二维条码图像部分的子区域集合。为使子区域集合更加完整, 还需要进行平滑操作, 对每个不属于任何子区域集合的任意子区域, 如果存在类似图 4(a) 半包围或 4(b) 全包围的任意一种形式, 则将此子区域合并到其相邻的子区域集合中。最后, 因为二维条码图像是呈矩形结构的, 剔除非矩形结构和子区域数小于一定数目的子区域集合, 便可得到二维条码的候选区域集合。

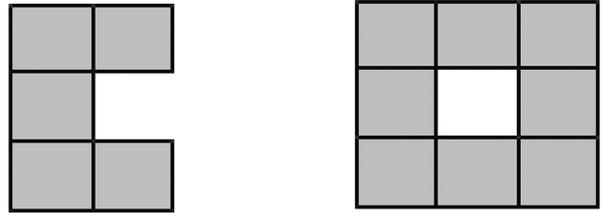


图 4 子区域平滑示意图

Fig. 4 Sketch maps of sub area smoothing

4.2 候选区域验证

根据多分辨率分析特性, 对某一候选集, 其轮廓在低频子图位置与其在高频子图中的位置近似相同, 这样, 就可以得到每个二维条码候选集的低频轮廓位置。然后针对每一个候选集, 在其周围各扩展一排子区域, 便得到一个扩展的子区域集合。对每个扩展子区域集, 根据式 (10), 计算得到其投影向量 \mathbf{V}'_P 。比较向量头部和尾部, 如果在向量头部存在 $[\dots, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, \dots]$ 结构或者尾部存在 $[\dots, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, \dots]$ 结构, 则认为此扩展后的区域即为二维条码低频图像区域。

最后, 根据多分辨率分解特性, 便可得到二维条码图像相对应的在原图中的位置。

5 实验分析

为验证本算法的效果, 针对实际应用场合, 在物流和邮政领域采集了 250 幅 PDF417 条码灰度图像, 并采集 10 幅不含 PDF417 条码的灰度图像, 以下将从不同角度分析测试结果。

二维条码阅读器在不同的光照条件下, 会采集到不同明暗程度的条码图像, 通过使用本算法, 都能准确定位出 PDF417 条码的位置, 如图 5 所示, 上边三幅图像为在不同光照条件下得到的图像, 下边三幅图像为使用本算法的定位

结果,其都能准确检测并定位出条码的位置.



图 5 PDF417 二维条码图像在不同光照下检测定位

Fig.5 Detection and location of PDF417 under different illumination

当二维条码呈现在形状的包装物体上时,采集得到的条码往往会出现扭曲(如图 6 上边前两幅图)或者皱褶(如图 6 上边第三幅图),通过采用本算法,都能准确定位其位置(如图 6 下边三幅图像).



图 6 PDF417 二维条码图像扭曲皱褶时检测定位

Fig.6 Detection and location of PDF417 under distortion or cockle

PDF417 二维条码在流通应用过程中,会受到不同程度的碰撞和磨损,更严重的是丢失条码的部分信息(如图 2 所示).如图 7 左图所示,PDF417 二维条码有镂空、划损和破损等不同程度的污损.如图 7 右图所示,二维条码的位置都能被准确检测出,不会出现遗漏.但当条码出现图 7 左下图的情况时,使用本算法能定位条码的绝大部分位置,而使用传统算法则无法定位此位置,由于 PDF417 采用 RS 纠错理论,所以被检测出的条码部分仍然可以被正确破译.

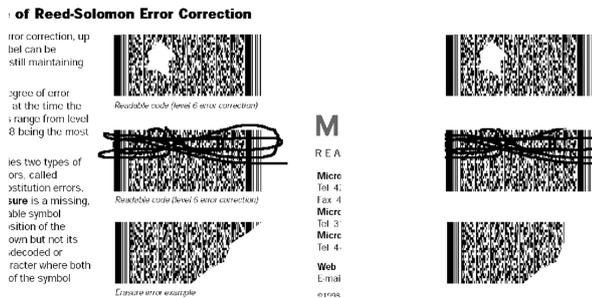


图 7 PDF417 二维条码图像污损时的检测定位

Fig.7 Detection and location of PDF417 under contamination

通过对定位的 PDF417 条码使用解码算法,对 250 幅条码图像进行定位测试结果为:一次检测定位成功率为 99.2%,二次检测定位成功率为 100%.

6 结论

二维条码的检测定位是二维条码自动识别技术的关键,正确检测到二维条码的存在并且正确定位可以大大减小二维条码的漏读率和提高其识读准确率.本文设计的算法在不改变原图像素值的情况下,充分利用了 PDF417 二维条码的图形特征,将高频纹理分析与低频轮廓分析相结合,充分发挥了小波多分辨率分析特性,能准确定位受不同程度污损的 PDF417 条码图像,是一种高效的自动检测与定位的方法,为二维条码的正确识别提供了有力的保障.

References

- 1 Arnould S, Awcock G J, Thomas R. Remote bar-code localisation using mathematical morphology. In: Proceedings of the 7th International Conference on Image Processing and Its Applications. Manchester, UK: IEEE, 1999. 642-646
- 2 Howlett R J, Berthier S, Awcock G J. Determining the location of industrial bar-codes using neural networks. In: Proceedings of the 6th International Conference on Image Processing and Its Applications. Dublin, Ireland: IEEE, 1997. 511-515
- 3 Jain A K, Chen Y. Bar code localization using texture analysis. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition. Tsukuba Science City, Japan: IEEE, 1993. 41-44
- 4 Oktem R. Bar code localization in wavelet domain by using binary morphology. In: Proceedings of the 12th Signal Processing and Communications Applications Conference. Kusanadasi, Turkiye: IEEE, 2004. 499-501
- 5 Lu X J, Fan G L, Wang Y K. A robust barcode reading method based on image analysis of a hierarchical feature classification. In: Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing, China: IEEE/RSJ, 2006. 3358-3362
- 6 Fang X Y, Wu F L, Luo B, Zhao H F, Wang P. Automatic recognition of noisy code-39 barcode. In: Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops. Hangzhou, China: IEEE, 2006. 79-82
- 7 PDF417 国家标准, GB/T 17172, 1997
- 8 Zhang Hong-Wei, Liu Zheng-Guang, Chen Hong-Xin. An algorithm of JPEG2000-based low memory and low complexity image coding. *Journal of Tianjin University*, 2006, 39(3): 319-324 (张宏伟, 刘正光, 陈红新. 基于 JPEG 2000 低内存低复杂度的图像编码算法. *天津大学学报*, 2006, 39(3): 319-324)
- 9 Hao J S, Shen Y. Region growing within level set framework: 3-D image segmentation. In: Proceedings of IEEE World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian, China: IEEE, 2006. 10352-10355

吕佩卓 博士研究生. 主要研究方向为智能图像处理, 多媒体信号处理. 本文通信作者. E-mail: dylanamd@163.com

(LV Pei-Zhuo Ph.D. candidate at South China University of Technology. His research interest covers intelligent image processing and multimedia signal processing. Corresponding author of this paper.)

赖晓铮 博士后. 主要研究方向为射频识别技术, 微波天线, 信号处理. (LAI Xiao-Zheng Postdoctoral at South China University of Technology. His research interest covers radio frequency identification technology, microwave antenna, and signal processing.)

赖声礼 教授. 主要研究方向为雷达, 微波天线, 信号处理. (LAI Sheng-Li Professor at South China University of Technology. His research interest covers radar, microwave antenna, and signal processing.)