

数学形态学在数字伪造模糊检测中的应用

黄惠芬, 王志红, 常玉红

(山东英才学院信息工程学院, 山东 济南 250014)

摘要: 针对图像篡改中常用的模糊操作, 研究使用平滑滤波保存边和数学形态法的新型模糊检测方案, 充分利用2种方法的锐化功能和去噪功能, 无需水印技术等任何嵌入信息就能指出可能的篡改并定位篡改位置, 该方法不仅可以判断某个图像是否被虚化过, 还能检测该图像的虚化程度。实验结果证实了该方案的有效性。

关键词: 图像取证; 数学形态学; 模糊; 边缘

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-109x.2017.00152

Blur detection of digital forgery using mathematical morphology

HUANG Hui-fen, WANG Zhi-hong, CHANG Yu-hong

(School of Information Engineering, Shandong Yingcai University, Jinan 250014, China)

Abstracts: Aiming at the fuzzy operation commonly used in image tampering, a new fuzzy detection scheme using smooth filter preserving edges and mathematical morphological methods was studied. By using the sharpening function and denoising function of both methods, tampering and location of tampering position can be pointed out without embedding information such as watermarking technique. The method can not only determine whether an image has been virtualized, but also detect the extent of the image blur. Experimental results confirm the effectiveness of the scheme.

Key words: image forensics, mathematical morphology, blur, edge

1 引言

图像、视频和音频等基于 Web 的大量数字内容已成为互联网上应用最广泛的媒体。如今, 低成本和高分辨率的数码相机和先进的照片编辑软件使编辑和修改数字图像易如反掌。在数字世界中, “眼见为实”这句话未必正确。人们很容易怀疑自己收到的照片是否属实。在法庭上或保险索

赔时提供的照片证据也不排除有伪造的可能, 即便图像看起来真实可信、确凿无疑。因此, 检测图像真实性的可靠方法研究成为数字取证研究的热点。

数字图像取证是通过对图像统计特性的分析来判断数字图像内容的真实性、完整性和原始性, 即判断数字图像从被数码相机拍摄后有没有经过篡改的技术^[1,2]。

收稿日期: 2017-01-03; 修回日期: 2017-02-05。通信作者: 黄惠芬, shouyu1976@163.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61402271); 山东省重点研发计划基金资助项目 (No.2015GGX101012, No.2016GGX101037); 山东省自然科学基金资助项目 (No.ZR2015JL023, No.ZR2015JL025, No.ZR2016FM34, No.ZR2016FQ23); 山东省社科规划研究基金资助项目 (No.15CXWJ08); 山东省高等学校科研计划基金资助项目 (No.J15LN54, No.J16LN55)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61402271), The Key R & D Technology Development Foundation of Shandong Province (No.2015GGX101012, No.2016GGX101037), The Natural Science Foundation of Shandong Province (No.ZR2015JL023, No.ZR2015JL025, No.ZR2016FM34, No.ZR2016FQ23), The Social Science Planning Project of Shandong Province (No.15CXWJ08), Higher Education Research Project of Shandong Province (No.J15LN54, No.J16LN55)

图像修改是图像操作中最常见的操作, 通过复制、粘贴图像的局部内容达到消除背景人物的目的。此前有很多文献探讨了如何检测和定位篡改区域的图像。例如, 美国 Dartmouth 大学的 Farid^[3]教授对数字图像利用多尺度小波分解和高阶统计建模的方法对图像进行鉴别和认证。Popescu 等^[4,5]提出了利用量化 DCT 系数直方图中出现的类采样效应来进行图像重压缩检测的方法, 以及使用 EM 分析邻近像素线性组合的概率, 进而检测数字图像重采样的方法。Johnson^[6]还提出了基于主成分分析的方法, 在同幅图复制粘贴检测过程中解决了运算量过大和顽健性差的问题。Chang 等^[7]还提出了检测图像拼接伪造的数学模型, 并利用双一致性, 即归一化后的双谱对拼接的伪造图像进行分析取证, 以 75%~80% 的检测准确率来鉴别拼接的篡改伪造图像。美国 Binghamton 大学的 Fridrich^[8,9]提出利用数码相机的模式噪声作为其“数字弹道”进行相机识别, 并提出基于量化 DCT 的方法^[10]来解决复制、粘贴检测运算量过大和顽健性差的问题。骆伟祺^[11]提出了基于块效应的 JPEG 图像篡改和视频篡改检测方法。王波等^[12]提出了利用异常色调率来对相机拍摄的照片图像进行取证的方法, 可以对合成后经过模糊处理的篡改伪造图像进行鉴别。周琳娜等^[13,14]利用同态滤波、移动平均滤波的方法检测经过模糊处理的数字图像篡改。Fan 等^[15]利用图像头文件参数经过篡改操作后的变化程度检测图像是否经过篡改操作。

本文提出了一种使用平滑滤波保存边和数学形态法的新型模糊检测方案, 该方案不仅可以判断某个图像是否被虚化过, 还能检测该图像的虚化程度。本文方案充分利用了平滑滤波保存边的模糊边缘锐化功能和去噪功能, 对区分去焦模糊和人工模糊非常必要。这样, 即便图像上没有数字水印或签名, 也能检测到可能的篡改并确定篡改的位置。实验结果表明了该方案的有效性。

2 模糊过程与图像边缘特征

图像模糊是数字图像处理的常用操作之一, 通常用来平滑图像, 去除瑕疵或进行边缘的羽化。

在伪造数字图像过程中, 为消除拼接边的统计失真或视觉失真, 造假者通常采用模糊、淡化、遮盖等修改方法消除在图像上进行复制、粘贴操作时留下的多余阴影痕迹, 减轻伪造过程中造成的不连续现象, 甚至还能隐瞒拼接的边缘。所以, 如果图像中存在某些模糊操作, 则该图像被篡改的可能性就比较大。

2.1 人工模糊的数学模型

如果能跟踪模糊处理, 就可以发现对数字图像的篡改。为了跟踪模糊处理, 应该了解模糊的效果, 以及图像中的模糊是如何产生的。使用 PS 等图像处理软件对图片进行模糊处理时, 用户可能在软件中选择指定的模糊模式。某些模糊模式支持用户自定义的过滤器, 因此可以使用不同的模糊半径和强度处理图像。根据 PS 图像处理软件提供的模糊算法, 模糊即对所选图像区域执行邻域均值滤波, 得到平滑的滤波效果。不同的模糊方式使用不同的邻域均值滤波函数。滤窗宽度决定模糊半径, 滤波参数反映了模糊程度。换言之, 模糊即用该像素局部区域的邻域平均值 $g(i, j)$ 取代原像素点值 $f(i, j)$, 该过程中使用加权矩阵乘以 $\frac{1}{n^2}$ 的结果对所有像素执行空间滤波。当所选择区域是正方形时, 模糊的表达式为

$$g(i, j) = \frac{1}{n^2} \sum_{k=-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} \sum_{l=-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} f(i+k, j+l) \quad (1)$$

其中, n 为非负整数, 是滤窗宽度, 该值表示模糊区域的大小。灰度平均值的邻域区域 n 越大时, 所选图像区域的模糊程度越高。

2.2 图像离焦模糊和人工模糊

检测过程中, 在某些自然图像中存在某些离焦模糊块。数字篡改中出现的这种情况通常是人工模糊。因此, 如需从图像中精确取证, 从常规图像操作(离焦模糊)和恶意攻击(如手工模糊)中提取线索至关重要。

人工模糊是在由人工确定模糊半径的区域中通过窗口化滤波像素实现的。因此, 在模糊半径范围内, 模糊滤波的输出结果相当, 而位于模糊半径以外的像素完全未经处理。相机离焦模糊没有模糊半径, 相对于离焦点的像素灰度值辐射逐渐下降。这 2 个模糊过程的效果如图 1 所示。

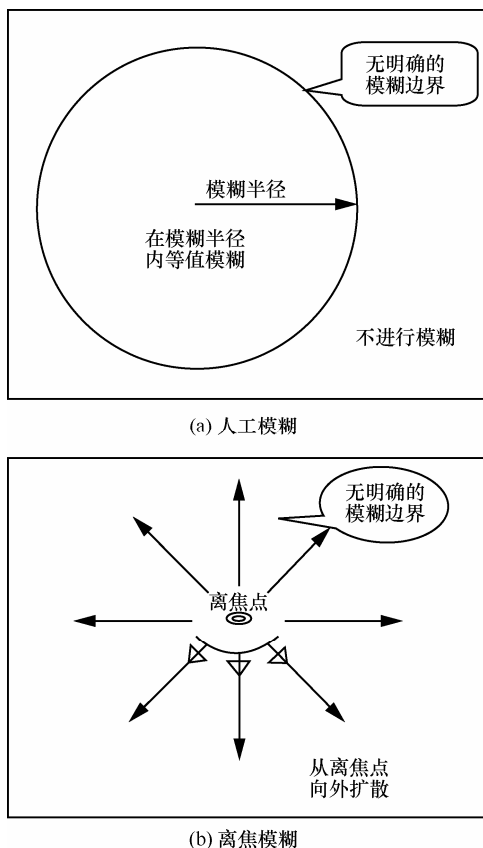


图1 2种模糊效果的对比

由图1可知,手动模糊和相机离焦模糊的最大区别在于:手动模糊具有明显的模糊边缘,模糊区域内外的像素点有明显差异;相机的离焦模糊与之相反,没有模糊边缘,变化更平滑均匀。因此,如果该图像处理方法可以精确消除邻域均值灰度滤波的手动模糊效果、暴露出模糊边缘并区分内外像素点,就可以准确区分手动模糊和离焦模糊。通过分析和实验发现,边缘保留平滑滤波是一种有效的处理算法。

2.3 通过边缘保留平滑滤波显示手动模糊边

这种边缘模糊主要由人工模糊过程中的动态均化引起,涉及灰度平均值的计算,无论局部区域的边缘是否存在。因此,为了消除这种模糊,可以在每个像素的周围选择没有边缘的局部区域,并将灰度平均值作为指定像素的输出。边缘保留平滑滤波是一种有效的方法。详细过程是计算点 $f(i, j)$ 处包括4个五边形、4个六边形和1个正方形9个邻域的灰度方差 σ_i (如图2所示)。然后处理该区域平均灰度,并将最小方差作为该点的输出。该过程可以消除由人

工模糊引起的噪声,锐化模糊边缘,从而暴露出模糊区域。

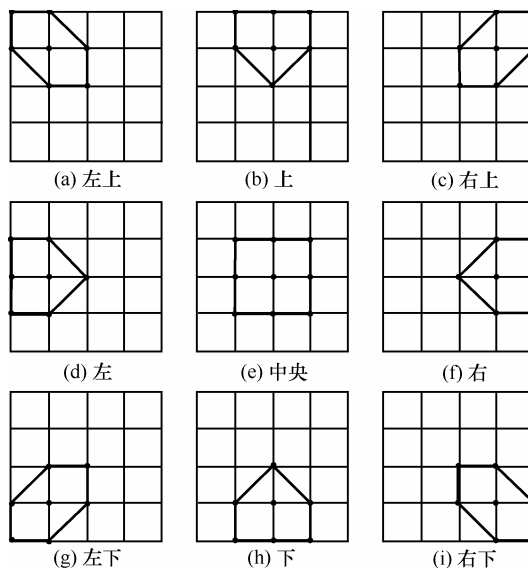


图2 边缘保留平滑滤波结构

上述9个局部区域的点 $f(i, j)$ 的灰度协方差 D_l 为

$$D_l = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^m \left| g(i+k, j+k) - \overline{g(i, j)} \right|^2, l=a, b, c, \dots, i \quad (2)$$

边缘保留平滑滤波为

$$g(i, j) = \min(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c, \dots, \sigma_i) \quad (3)$$

图像经过边缘保留平滑滤波后,放大了图像经人工模糊处理后的拼接边缘,此时就可以设定合适的阈值,采用数字形态学中的腐蚀运算,排除图像的自然边缘,提取定位出图像拼接伪造的区域。

对图像中可能存在的模糊操作进行检测的过程如下。

1) 将预取证的图像信号取对数,进行傅里叶变换,分离其照明函数频谱和反射函数频谱,以便对其边缘进行边缘灰度级扩展处理。

2) 设计合适的边缘保留平滑滤波函数,在频域中同时将图像亮度范围进行压缩,并将图像对比度进行增强,在对正常图像边缘影响较小的前提下,放大增强模糊处理后的边缘。

3) 提取经边缘保留平滑滤波后图像的二值边缘图像信息,选择合适的结构元对二值边缘图像信息进行腐蚀运算,腐蚀收缩掉未经增强的图像正常边缘,提取经增强处理的图像模糊拼接边缘,从而定位图像的伪造区域。

3 使用数学形态学进行模糊检测

根据上文提出的检测方案,可以有效区分手动模糊和离焦模糊。同时,两者在二值图像中具有不同的数学形态学边缘,可通过数学形态学的运算消除常规边,从而达到检测手动模糊的目的。

数学形态学中认为图像由一组像素表示。形态学运算可以形象地表示为对2个图像的处理过程。处理后的图像被称为活动图像,另一个 **kerne**k 映像称为结构元,可以通过各种结构元对活动图像执行滤波探测。两大形态学运算:腐蚀运算和膨胀(**dilation**)运算的定义如下。

$$A \ominus B = \{x | B + x \subseteq A\} \quad (4)$$

$$A \oplus B = \bigcup \{A + x | x \in B\} \quad (5)$$

$\ominus$ 和 $\oplus$ 分别表示腐蚀和膨胀运算。 A 是有源图像, B 为结构元。腐蚀和膨胀运算对二值图像的效果如图3所示。

手动模糊过滤即对使用窗口化滤波函数确定的模糊半径内的像素进行滤波处理。该函数对模糊半径内的临域灰度像素平均化,相当于数学形态学中对局部边缘执行结构元的膨胀运算。图4为执行手动模糊前后图像的数学形态学的滤波边。因此,通过保存边缘平滑滤波对二值边缘图像执行腐蚀运算可以淡化图像自然区域的边,并能提高伪造区域的边清晰度,从而可以轻易检测出篡改区域。

如今,数学形态学滤波器可以通过消除常规边、保存经过边缘保留平滑滤波锐化的模糊边检测手动模糊。使用腐蚀和膨胀运算处理二值边缘图像

时,构造结构元非常重要。结构元的形态和大小对提取有用信息十分关键。本文对多个结构元进行了实验,通过 3×3 正方形结构元得到最佳实验结果。

$$SE = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

通过数学形态学滤波消除常规边缘、保留模糊边缘后,可以设置适当的阈值,确定某图像是否经过模糊处理,同时定位篡改区域。该检测方案可以直接应用于单一图像,其算法步骤如下。

Step1 使用边缘保留平滑滤波对原始图像进行滤波处理,该运算可以有效区分常规边缘和人工模糊边缘。

Step2 将原始图像转换为二值图像,得到边缘的二值图像。

Step3 使用带有结构元的腐蚀运算处理边缘二值图像。

Step4 设置适当的阈值,定位可能的篡改区域,并确定图像是否经过模糊处理。

4 实验结果

该模糊检测方案的性能在 **Matlab** 环境下仿真测试。与之前研究不同的是,某些测试图片来自互联网(从 **Worth1000** 网站下载),某些测试图片由数码相机拍摄(如果要研发检测数字图像篡改更实用的方法,就得使用现实生活中的图像来测试)。实验结果如表1所示。图5为该模糊

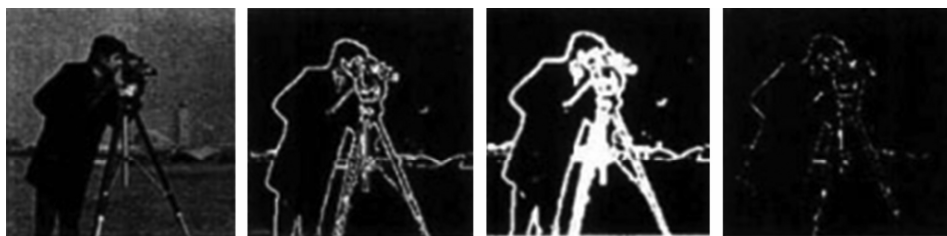


图3 腐蚀和膨胀过程

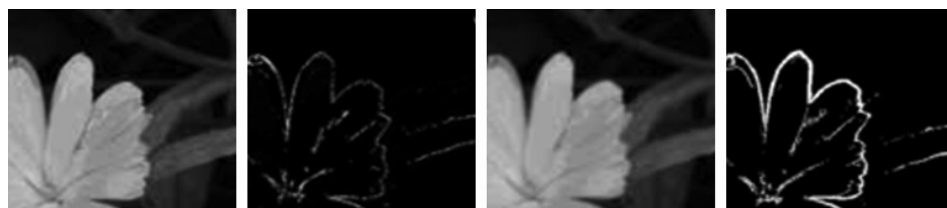


图4 滤波边的变化过程

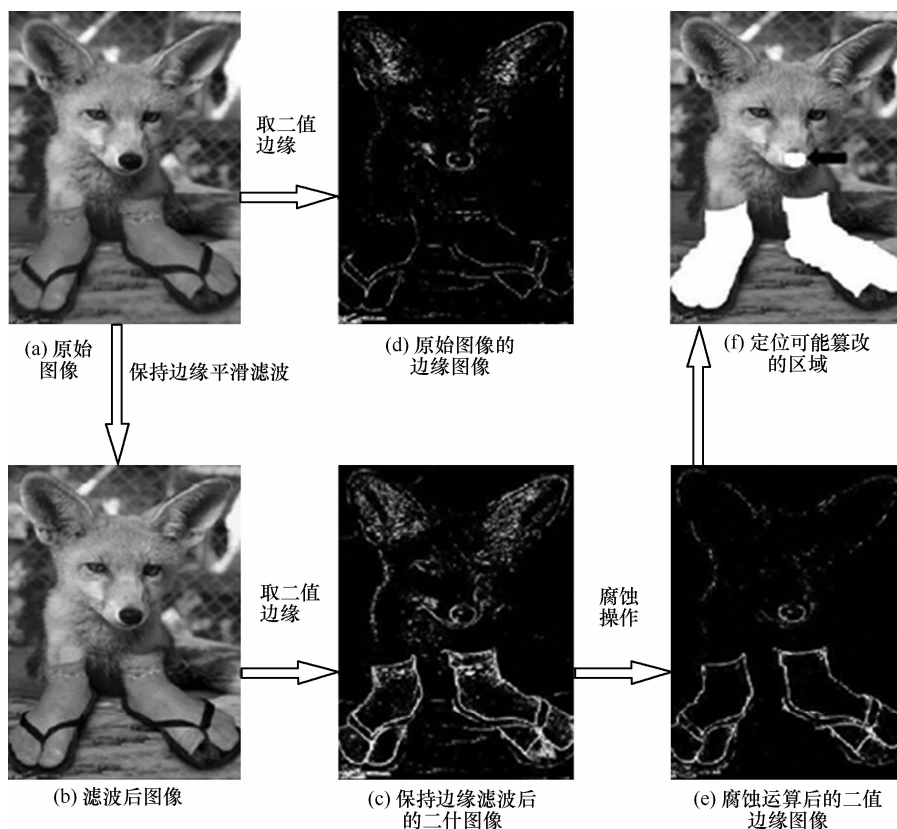


图5 用保持边缘平滑滤波进行模糊原始取证

表1

实验结果

检测的图像	图像数量/个	正确数量/个	失误数量/个	检出率
来源于 Worth1000 的原始图像	20	19	1	95%
来源于 Worth1000 的处理图像	55	46	9	83.6%
索尼相机拍摄原图	118	108	10	91.5%
柯达相机拍摄原图	125	112	13	89.6%

检测方案实施过程。图 5(f)中白色区域为采用上述方法检测出的经过模糊处理的局部区域。黑色箭头所指区域为误判是经过模糊处理的区域。由图 5 可知,先使用边缘保留平滑滤波法处理图像,再使用数学形态学检测人工模糊边,从而可以精确识别数字取证、精确定位篡改区域。

5 结束语

本文提出了检测数码相机拍摄的图像新型模糊检测方案。该方案利用了边缘处理和边缘平滑滤波和数学形态学功能,可以判断并指出可能的篡改并定位篡改位置,无需水印等嵌入式信息。实验结果表明,所提方案检测模糊篡改有效。数字篡改可能从多层面影响图像特点。本文仅描述

了图像取证检测的部分内容。随着数字伪造技术的发展,仅凭数字取证工具很难确保数字检测技术的与时俱进。未来数字取证研究将考虑多重取证工具,并且与相关法律法规结合,提供有说服力的数字防伪手段。

参考文献:

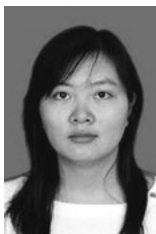
- [1] 黄惠芬,孙占全.数字图像司法取证技术[M]. 济南: 山东大学出版社, 2015.
HUANG H F, SUN Z Q. Digital image judicial forensics technology[M]. Jinan: Shandong University Press, 2015.
- [2] 周琳娜,张茹,郭云彪. 数字图像内容取证[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
ZHOU L N, ZHANG R, GUO Y B. The content of digital image forensics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011.
- [3] LYU S, FARID H. How realistic are photorealistic[J]. IEEE Trans-

- actions on Signal Processing, 2005, 53(2): 845-850.
- [4] POPESCU A C. Statistical tools for digital image forensics[D]. Hanover: Dartmouth College, 2004.
- [5] POPESCU A C, FARID H. Exposing digital forgeries by detecting traces of resampling[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2):758-767.
- [6] JOHNSON K, FARID H. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting[C]//The 7th International Multimedia Conference on Multimedia and security. 2009.
- [7] NG T T, CHANG S F, TSUI M P. Camera response function estimation from a single-channel image using differential invariants[C]//The International Conference on Availability, Reliability and Security. 2009.
- [8] GOLJAN M, FRIDRICH J. Sensor fingerprint digests for fast camera identification from geometrically distorted images[C]//SPIE, Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics XV. 2013:3-7.
- [9] JOHNSON K, FARID H. Exposing digital forgeries through chromatic aberration[C]//The International Multimedia Conference Proceeding of the 8th Workshop on Multimedia and Security. 2010: 48-55.
- [10] GOLJAN M, FRIDRICH J, CHEN M. Defending against fingerprint-copy attack in sensor-based camera identification[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(1): 227-236.
- [11] 骆伟祺.多媒体被动认证方法研究[D]. 广州: 中山大学,2008.
LUO W Q. Study of multimedia passive authentication method[D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2008.
- [12] 王波, 孙璐璐, 孔祥维, 等. 图像伪造中模糊操作的异常色调率取证技术[J]. 电子学报, 2006, 34(S1): 2451-2454.
WANG B, SUN L L, KONG X W, et al. The image forgery fuzzy operation rate of abnormal tonal forensics technology[J]. Chinese Journal of Electronic, 2006, 34(S1): 2451-2454.
- [13] 周琳娜, 王东明, 郭云彪, 等. 基于数字图像边缘特性的形态学滤波取证技术[J]. 电子学报, 2008, 36(6): 1047-1051.
ZHOU L N, WANG D M, GUO Y B, et al. Forensics technology based on digital image edge features of morphological filtering[J]. Chinese Journal of Electronic, 2008, 36(6): 1047-1051.
- [14] ZHOU L N, WANG D M, GUO Y B, et al. Blur detection of digital forgery using mathematical morphology[C]//Lecture Notes in Computer Science. 2007: 990-998.
- [15] FAN J Y, CAO H, ALEX C. Estimating EXIF parameters based on noise features for image manipulation detection[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2013, 8(4): 608-618.

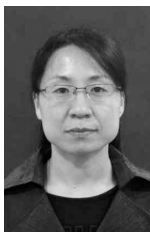
作者简介:



黄惠芬 (1980-), 女, 山东威海人, 博士, 山东英才学院教授, 主要研究方向为信息隐藏。



王志红 (1978-), 女, 山东泰安人, 山东英才学院副教授, 主要研究方向为信息隐藏。



常玉红 (1977-), 女, 山东聊城人, 硕士, 山东英才学院副教授, 主要研究方向为信息隐藏。