

基于 GHM 多小波与 Canny 边缘检测的 医疗图像隐私保护算法研究

李璐瑶^{1,2}, 赵祥模¹, 戴 明^{1,2}, 任 帅¹, 段宗涛¹

(1 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064; 2 中国交通通信信息中心, 北京 100011)

摘 要: 应用 GHM 多小波变换对 CT 图像按能量进行重要度分解, 得出 LL_2 、 LH_2 、 HL_2 和 HH_2 , 之后对最强信息子图 LL_2 和最弱信息子图 HH_2 进行强 Canny 边缘检测, 利用检测图像内容边缘较多较细且几乎对医疗诊断无用的特点, 通过对无效边缘进行删除和异或运算处理, 达到隐藏病患信息的目的. 算法对病患图像进行边缘修改与信息嵌入, 不仅保护常规可视效果下的隐私, 而且可以安全携带病患的个人已经诊断信息.

关键词: 医疗图像; 隐私保护; GHM 多小波变换; Canny 边缘检测

中图分类号: TP309.2; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0168-05

Research on Privacy Protection Algorithm for Medical Images Based on GHM (Geronimo Hardin Massopust) Multi-Wavelet Transform and Canny Edge Detection

LI Lu-yao^{1,2}, ZHAO Xiang-mo¹, DAI Ming^{1,2}, REN Shuai¹, DUAN Zong-tao¹

(1 School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2 China Transport Telecommunications and Information Center, Beijing 100011, China)

Abstract: According to different importance degrees, CT images can be distributed into LL_2 , LH_2 , HL_2 and HH_2 by GHM multi-wavelet. The edges of LL_2 (with the highest important degree) and HH_2 (with the lowest important degree) are detected by strong Canny method. With many thin edges, which are useless for medical diagnosis, patients' information can be hid by deletion and comparison processing of invalid edges. Edges of medical images are modified in order to embed patients' information, so the privacy can be protected under the normal visualization and the existing diagnosis information of patients can be carried safely.

Key words: medical image; privacy protection; GHM multi-wavelet; canny edge detection

1 引言

个人隐私安全是现今数字化时代需要重点关注的问题, 在医疗过程中, 数字化辅助诊断设备的逐步引入, 使病患信息也逐步由纸质介质转化为数字存储. 携带着大量病患隐私信息和医疗信息的个人医疗数字记录介质被存储在由成千上万的医院网络、医疗护理组织及制药企业等单位共同构成的数据

库中^[1].

医学领域常见的几种图像格式为 CT、MRI、X-ray 等等. 其中, 有些图像是以模拟图像的形式存储的, 另外一些是数字形式. 出于存储、使用和传输的便利性, 几乎所有传统的医学图像格式也都转换为了数字图像. 数字媒介的易拷贝传输性、相关数据库访问权限的管理漏洞以及信息泄漏背后的非法利益价值给个人隐私的泄漏带来了极大的隐患. 而这种

收稿日期: 2014-02-16; 修回日期: 2014-04-09

基金项目: 交通运输部项目(2012-364-208-600, 2012-364-208-200, 201231849A70); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2013JM8018); 中央高校项目(2013G1241118, 2013G2241020)

隐患在触犯法律的同时将恶化医患双方的关系,合理的技术手段可以避免数字医学图像的个人隐私泄露问题.添加水印防止篡改是有效的手段之一^[2],比如,有的学者基于对医学图像自身的特性,将人体神经系统图用专业的数学模型进行解析,这种模型能够简化一些特殊医学图像的表示,比如 MRI 脑部图像,从而在简化之后可留出冗余空间作为嵌入水印等鲁棒信息的存储区域^[3].大多数此类算法均是基于频域算法,如 DCT、DWT、DFT 等,对数字医学图像进行水印的嵌入.其中具体的嵌入位置或修改量即为选定的某些频域系数^[4].

在实际应用中,医学图像绝大多数为灰度图像,还有一部分是二值图像.基于之前的研究基础^[5],本文对灰度图像和二值图像的性质解析有着成熟的理论体系.且从文献^[6]中,我们得知 GHM 多小波变换在载体图像预处理中比上述的频域方法更有明显的优势,故本文将应用 GHM 多小波变换对 CT 图像进行重要度分解,之后利用 Canny 边缘检测算法对分解图像进行信息提取,按照信息隐藏技术思想对其进行数据修改,将个人信息以及诊疗信息嵌入到 CT 图像中,实现病患信息的不公开化,保护病患的个人隐私.

2 算法设计

算法思想是:对医疗 CT 图像进行 GHM 多小波变换,分解出具有明显能量区分的子图像.对最弱信息子图像进行强 Canny 边缘检测,即检测阈值较小,此时检测出图像内容边缘较多较细,且呈现出的边缘信息中,对医疗诊断无用的无效边缘;对最弱分量的无效边缘进行删除和异或运算处理,达到个人信息隐藏的目的.

2.1 GHM 多小波变换

GHM 多小波变换^[7]是最早构造并应用最广的多小波,它具有紧支撑、二阶逼近、尺度函数的整数平移相互正交和高阶消失矩与对称性等显著特点^[8,9].图 1 所示为 GHM 多小波变换对 Lena 图像进行一阶分解的实例. LL_1 子图像的 4 个分量子图只有 LL_1 清晰,占据了图像的主要能量.表 1 所示为 GHM 多小波经过一阶变换后的能量分布^[10].

表 1 GHM 多小波变换的一阶能量分布 %

LL_1 占图像总能量的百分比	LL_1 子图像各分量的能量分布			
	LL_2	LH_2	HL_2	HH_2
97.31	44.76	21.80	22.24	11.20

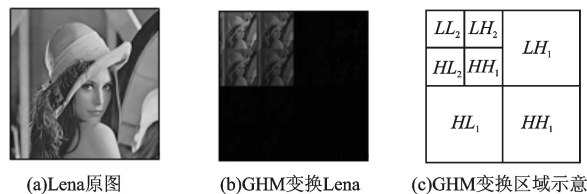


图 1 一阶 GHM 多小波分解实例

GHM 多小波的最低分辨率子图的 4 个分量 (LL_2 、 LH_2 、 HL_2 和 HH_2) 的能量分布近似于 4.5:2.2:2.2:1.1. 本文利用能量分布特点进行算法的研究与设计,利用次高能量区域的低能量子块 HH_2 进行信息隐藏,而高能量分量 LL_2 则作为信息对比嵌入单元,这样的设计使得嵌入信息的图像既有容量性,又略微区别于原图结构,从而使 CT 图像既包含医疗信息又使图像冲印效果略有变化,从而保护个人医疗信息.

2.2 Canny 边缘检测

John Canny 于 1986 年提出 Canny 算子^[11,12], Canny 算子采用高斯滤波对图像进行平滑,梯度幅值是通过邻域内有限差分均值来计算,对边缘的定位比较准确^[13].高斯滤波高、低阈值的参数不是由图像边缘的特征来决定的,需人为确定,通常由 SIGMA 表示,即高斯滤波的标准差.工具 Matlab7.0.0.19920 中 Canny 边缘检测的缺省值是 1^[14].

3 病患信息隐藏算法

3.1 信息隐藏

基于 GHM 多小波与 Canny 边缘检测的医疗图像隐私保护算法分为 9 个步骤,总体流程如图 2 所示.

Step1:对病患医学图像进行 GHM 多小波变换,提取出 LL_1 高能量区域中的 4 个子分量 LL_2 、 LH_2 、 HL_2 和 HH_2 ;

Step2:对 LL_2 和 HH_2 进行 Canny 边缘检测,阈值选取为 a 和 b ,得出的边缘图像(二值图像)为 A 和 B ;

Step3:对图像 A 和 B 进行从左到右、从上到下顺序遍历,分别得到 0、1 序列,记作 C 和 D ;

Step4:对 C 和 D 进行异或运算,如式(1)所示,得到 0、1 序列 F ;

$$F = C \oplus D \quad (1)$$

Step5:对病患信息进行 0、1 数据转换(ASCII 码),得到 0、1 序列,记作 G ;

Step6:将 G 数据赋予 F ,作式(2)运算,得到新

的 D 序列,记作 D' ,并按照 D 序列对子图像 HH_2 的边缘图像 B 进行修改,得到新的边缘图像 B' ;

$$D' = C \oplus F \quad (2)$$

Step7:按照边缘图像 B' 进行 Canny 逆运算,得新的 HH_2 ,记作 HH_2' ;

Step8:将 Canny 边缘检测阈值 a 和 b 进行 0,1 数据转换,并利用 LSB 方法进行数据嵌入,嵌入位置为 LH_2 ,得到新的 LH_2 子图像,记作 LH_2' ;

Step9:利用 LL_2 、 LH_2' 、 HL_2 和 HH_2' 进行 GHM 多小波逆变换,得到包含病患个人以及诊断信息的医疗图片。

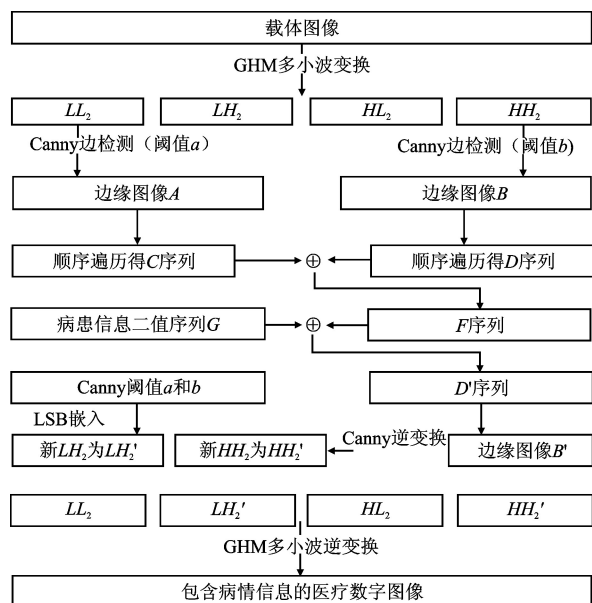


图 2 基于 GHM 与 Canny 边缘检测的医疗图像隐私保护算法步骤

3.2 信息提取

患者调取提取信息时所使用的密钥即为患者姓名(帐户名)以及 Canny 阈值 a 和 b (密码),算法提取分为 5 个步骤,流程图如图 3 所示。

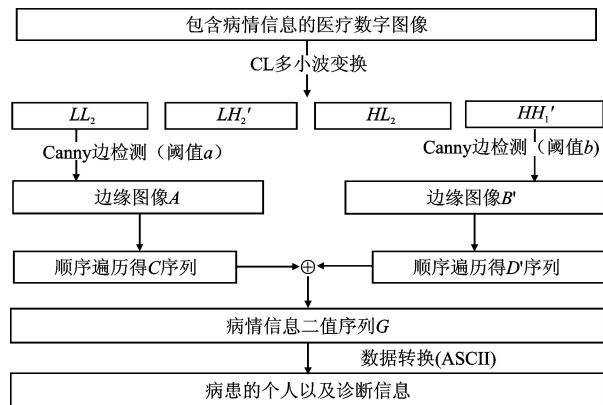


图 3 病患信息提取步骤

Step1:对含有诊断信息的病患医学图像进行 GHM 多小波变换,提取出 LL_1 高能量区域中的 4 个子分量 LL_2 、 LH_2 、 HL_2 和 HH_2 ;

Step2:利用 a 和 b 分别对 LL_2 和 HH_2 进行 Canny 边缘检测,得出边缘图像 A 和 B ;

Step3:对图像 A 和 B 进行从左到右、从上到下顺序遍历,分别得到 0,1 序列,记作 C 和 D ;

Step4:对 C 和 D 进行异或运算,如式(3)所示,得到 0,1 序列 G ;

$$G = C \oplus D \quad (3)$$

Step5:对 G 的 0,1 序列进行相应语言转换(ASCII 码),得出病患的个人以及诊断信息。

4 安全性能分析

算法利用 GHM 多小波变换,分解出能量有极大区别的图像子块,利用能量与可见性效果的规律,对相关部位(最高能量与最低能量区域)进行 Canny 边缘检测与边缘修改(信息嵌入),从而“似改非改”的对原始医疗图像处理。

处理后的图像在边缘上有了一定的变化,使得图像在电脑显示器以及冲洗后放在 CT 灯箱下的图像不是真实图像,必须经过信息隐藏提取后才能无损还原数字图像信息并且直接提取病患诊断信息,从而保护病患的个人隐私。

5 实验仿真

仿真环境为 Matlab7.0.0.19920,载体图像为 512×512 的 CT 医疗图像,由原 DCM 格式转 JPG 格式(图 4a),隐藏信息为文本(图 4b)。



(a)Brain原图

姓名: 张三
性别: 男
出生日期: yyy.mm.dd
诊断结果: cerebral concussion
就诊日期: yyy.com.dd

(b)病患信息

图 4 病患医学图像及欲隐藏信息

依照本文算法,首先对医疗原始图像进行 GHM 多小波变换,分解出 LL_1 的四个分量子图,如图 5(a)所示为病患医学图像的 GHM 多小波分解,5(b)至 5(e)为四个分量子图 LL_2 、 LH_2 、 HL_2 和 HH_2 。

LL_2 和 HH_2 分别进行 Canny 边缘检测,在 Matlab7.0.0.19920 平台上实现,阈值 a 和 b 取缺

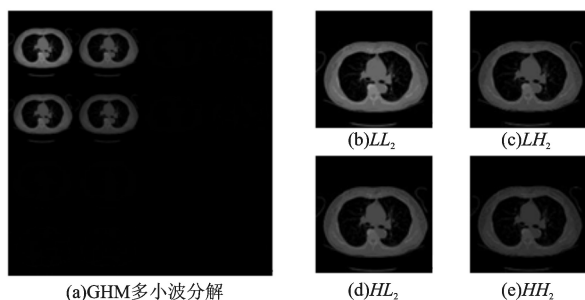


图 5 病患医学图像的 GHM 多小波分解

省值 1,如图 6 所示.

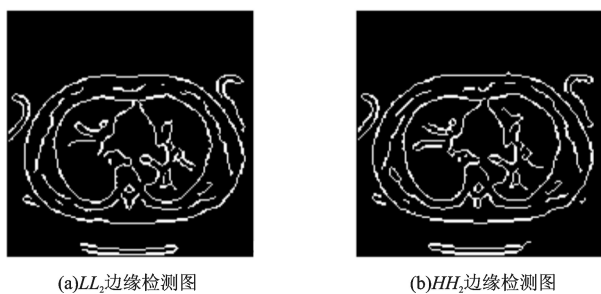


图 6 Canny 边缘处理(检测)

对 6(a)和 6(b)进行从左到右、从上到下顺序遍历,分别得到 0,1 序列,分别得到 C 和 D 序列;对 C 和 D 进行异或运算,按式(1)得序列 F;对病患信息进行 0,1 数据转换(ASCII 码),得到 0,1 序列,记作 G;将 G 数据赋予 F,作式(2)运算,得到新的 D 序列,记作 D'。(由于数据过大,不在文章列出)

按照 D'序列对子图像 HH_2 的边缘图像 B 进行修改,得到新的边缘图像 B',如图 7 所示;按照边缘图像 B'进行 Canny 逆运算,得新的 HH_2 ,记作 HH_2' ,如图 8 所示.

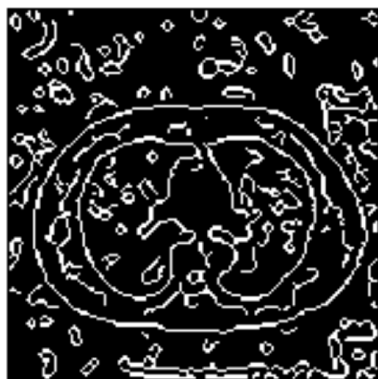
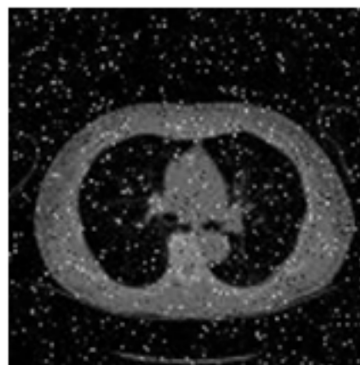


图 7 修改后的新的边缘图像

将 Canny 边缘检测阈值 a 和 b 进行 0,1 数据转换,并利用 LSB 方法进行数据嵌入,嵌入位置为

图 8 新的 HH_2 图像

LH_2 ,得到新的 LH_2 子图像,记作 LH_2' ,如图 9 所示.

图 9 嵌入的边缘检测阈值 a 和 b 的新 LH_2 图像

利用 LL_2 、 LH_2' 、 HL_2 和 HH_2' 进行 GHM 多小波逆变换,得到包含病患个人以及诊断信息的医疗图片,如图 10 所示.



图 10 包含病患个人以及诊断信息的医疗图片

6 结束语

本文以医学图像中最为常见的灰度图像为研究载体,应用 GHM 多小波变换和 Canny 边缘检测算法分别对载体图像进行能量特性和结构特性的解

析,以满足算法对鲁棒性信息进行隐藏的需求. 本文具体内容可总结为:(1)利用图像经 GHM 多小波变换,形成嵌入信息的 4.5:2.2:2.2:1.1 的能量区域子块;(2)经过 Canny 边缘检测,上述由 GHM 多小波变换生成的子块又呈现出了具体的嵌入(修改)位置;(3)通过对 GHM 多小波变换所产生的子块中的最低能量块实施修改以应用最高能量块作为异或运算参与数据,达到面向医疗图像安全,即病患隐私保护的目的.

在未来的研究工作中,将关注如下几个研究方向:(1)本算法对二值类医学图像隐私保护的改善效果;(2)研究并归纳各类可用于数字医学图像的混合域方法(变换域和空间域相结合)的各项性能;(3)基于第二个研究方向,找寻出几种可用于同时改善算法鲁棒性和容量性的方法以应对非透明性的隐私保护需求,并找出几种可用于同时改善算法鲁棒性和不可见性的方法以应对透明性的隐私保护需求.

参考文献:

- [1] Cushman Reid. Information and medical ethics: protecting patient privacy [J]. IEEE Technology and Society Magazine, 1996, 15 (3): 32-39.
- [2] Hsiang-Cheh Huang, Wai-Chi Fang, Shin-Chang Chen. Privacy protection and authentication for medical images with record-based watermarking [C]// Life Science Systems and Applications Workshop. Washington, DC: IEEE, 2009: 190-193.
- [3] MahdiMajidi Nia, Reza Jahantigh, Amirhossein Gharib. Introducing a new algorithm for medical image encryption based on chaotic feature of cellular Automata [C]// The 8th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions. [s.l.]: IEEE, 2013: 582-587.
- [4] Rashid AH, Hegazy A-F. Protect privacy of medical informatics using k-anonymization model [C]// The 7th International Conference on Informatics and Systems (INFOS). [s.l.]: IEEE, 2010: 28-30.
- [5] Shuai REN, Tao ZHANG, Dejun MU. Study of reversible information hiding scheme based on GHM and ASA [J]. Applied Mathematics & Information Sciences, 2012, 6 (1): 29-33.
- [6] Zhang Tao, MuDejun, Ren Shuai. A confidential communication-oriented information hiding algorithm based on GHM multi-wavelet and DCT [J]. Applied Mathematics & Information Sciences, 2013, 7 (5): 1803-1807.
- [7] Geronimo J S, Hardin D P, Massopust P R. Fractal functions and wavelet expansion based on a several scaling functions [J]. Journal of Approximation Theory, 1994(78):373-401.
- [8] RenShuai, Mu Dejun, Zhang Tao, et al. Study of information hiding algorithm based on GHM and color transfer theory [J]. Optoelectronics Letters, 2009, 5 (6): 453-458.
- [9] 任帅, 慕德俊, 张弢, 等. 基于 GHM 多小波与自适应颜色迁移的信息隐藏算法研究 [J]. 西北工业大学学报, 2010, 28 (2): 264-269.
- [10] 黄卓君, 马争鸣. 多小波图像变换的统计分析 [J]. 中国图象图形学报, 2001, 12 (6A): 1198-1203.
- [11] Tao Sun, Changzhi Gao. An improved canny edge detection algorithm [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(22):2869-2873.
- [12] Juan Zhao, Wang Jin, Wei Wei, et al. Enhanced boundary detection method based on canny theory [J]. Information Technology Journal, 2013, 12 (22): 6723-6728.
- [13] Shakeri Mahsa, Jamzad Mansour. A robust zero-watermarking scheme using canny edge detector [J]. International Journal of Electronic Security and Digital Forensics, 2013, 5(1):25-44.
- [14] 美国 MathWorks 公司. Canny edge detection 2D [EB/OL]. [2014-02-15]. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/38924-canny-edge-detection-2d>.

作者简介:

李璐瑶 女, (1965-), 硕士, 研究员. 研究方向为交通信息化及信息安全.

赵祥模 男, (1966-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为交通信息技术及 ITS.

戴明 男, (1979-), 硕士, 高级工程师. 研究方向为交通信息化及通信.

任帅(通信作者) 男, (1982-), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为信息安全评估. E-mail: maxwellren@qq.com.

段宗涛 男, (1977-), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为交通信息综合处理及应用.