

基于邻域信息的红外与可见光图像互信息配准

翟利志, 王敬东, 李 鹏

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 基于互信息的配准方法以其自动化程度高和配准精度高的优点被广泛应用在图像配准中。文中针对红外与可见光图像配准中采用传统的互信息, 仅考虑图像像素的灰度信息, 而没有考虑图像像素之间空间信息的情况, 提出了一种基于邻域信息的互信息配准算法。该算法充分利用图像像素之间的空间信息, 在互信息计算中图像中每个像素的灰度值由其邻域像素的灰度值按照距离分配不同的权值共同得到。实验表明该算法使配准曲线更加光滑, 配准过程中极值更易找出, 提高了配准精度和抗噪能力。

关键词: 图像配准; 红外; 邻域信息; 互信息

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)10-0151-04

Infrared and Visible Light Image Mutual Information Registration Based on Neighborhood Information

ZHAI Li-zhi, WANG Jing-dong, LI Peng

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Mutual information which as an effective measure used in image registration. Standard mutual information used in the infrared and visible light image registration only considers the pixels intensity value but ignores their spatial information. In this paper give a new algorithm based on neighborhood information. Every pixel is determined by neighborhood pixel according to weight value by distance in process of the mutual information calculation. The experiment results show that the algorithm makes full use of spatial information, smoothes the registration curve, can easily find extreme value, achieves a high accuracy, and has good performance against noise.

Key words: image registration; IR; neighborhood information; mutual information

0 引 言

目前图像配准方法主要分为两类: 基于特征的配准方法和基于灰度的配准方法。基于特征的配准方法, 提取各类图像中共同的显著特征, 如边缘点、闭区域的中心等, 作为两幅图像配准的参考信息, 然后建立两幅图像特征之间对应关系, 进行特征匹配, 但是由于红外图像分辨率较低, 边缘模糊, 导致红外和可见光图像共性特征难以获取, 因此若采用基于特征的配准方法容易造成误匹配。在基于灰度的配准方法中最大互信息法的有效性已经得到了广泛的认可^[1], 基于互信息的配准算法已被大量应用于 CT、MRI、PET、遥感图像等多光谱图像配准中。这种方法具有很高的配准精度, 同时不需要对图像进行分割预处理, 简单方便。但是基于传统的互信息配准也有其不足: 首先两幅待配

准图像的互信息是由两幅图像的联合直方图计算出的, 两幅图像各自的灰度级别会对配准结果产生很大的影响, 尤其是对于某些灰度缺失的图像, 配准精确度会下降很大, 因此其鲁棒性有待于进一步提高; 其次在传统的最大互信息方法图像配准中, 每一对像素点的灰度集合都对互信息赋予相同的贡献, 只利用到两幅图的灰度统计特性, 忽略了水平面上像素位置之间存在的密切联系, 这就使得有时配准的峰值不够尖锐, 配准的最佳位置难于找出; 同时噪声的分布和大小对最大互信息的计算也会产生影响。为此国内外学者进行了众多有益的尝试, Josien 等人^[2]将图像的空间梯度信息引入到互信息配准中, 在医学图像配准取得了较好的配准结果; Rueckert 等人^[3]提出了一种扩展的互信息框架, 将二阶熵形式的互信息成功地应用到了非刚体的配准。文中提出一种基于邻域信息的互信息的配准算法, 在互信息计算中图像中每个像素的灰度值由邻域像素的灰度值按照距离分配不同的权值共同得到, 这样可以充分利用像素之间的空间信息, 使配准曲

收稿日期: 2008-01-05

作者简介: 翟利志(1981-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、计算机测控; 王敬东, 副教授, 研究方向为图像处理、计算机测控、无线传感器网络。

线更加光滑,配准过程中极值更容易找出,提高了配准精度;同时又由于每个像素的灰度值是由周围的像素共同作用产生,提高了算法的抗噪能力。

1 基于互信息的红外与可见光配准

1.1 传统的互信息配准算法

互信息是信息论中的一个测度,主要用来描述两个系统间的统计相关性或者一个系统所包含的另一个系统中信息的多少,表示为两个随机变量之间的相关熵。对于不同光谱图像,灰度属性上存在较大的差异,但是对于同一景物同一组织,其灰度分布又具有一定的相似性,因此,可以将图像像素灰度作为随机变量,采用图像灰度分布的统计数据作为配准测度函数来实现图像配准。

对于图像 A 和 B , 它们的互信息如下式所示:

$$I(A, B) = H(A) - H(A/B) = H(B) - H(B/A) = H(A) + H(B) - H(A, B) \quad (1)$$

其中, $H(A)$ 和 $H(B)$ 分别为图像 A 和 B 的熵, $H(A, B)$ 为二者的联合熵。

$$H(A) = - \sum_{i=1}^n P_A(a_i) \log P_A(a_i), H(B) = - \sum_{i=1}^n P_B(b_i) \log P_B(b_i), a_i, b_i \in [0, 255] \quad (2)$$

$$H(A, B) = - \sum_A \sum_B P_{AB}(a_i, b_i) \log P_{AB}(a_i, b_i), a_i, b_i \in [0, 255] \quad (3)$$

其中, $P(a_i)$ 是图 A 灰度值频数, $P(b_i)$ 是图 B 灰度值的频数, $P_{AB}(a_i, b_i)$ 是图 A 和图 B 灰度值对的频数。

若图像 A, B 完全配准, $H(B/A), H(A/B)$ 取最小值,从而使 $H(A, B)$ 最小、 $I(A, B)$ 最大,即互信息取最大值时,两幅图像完全配准。

对于前景部分的多个目标有相似灰度分布的红外和可见光图像配准,最大互信息法不能很好地实现配准,因此在实际应用中一般采用归一化互信息(NMI)^[4]:

$$NMI(A, B) = \frac{H(A) + H(B)}{H(A, B)} \quad (4)$$

1.2 基于邻域信息的互信息法配准算法

结合梯度信息的互信息配准方法是这样认为的:在多模医学图像配准中不同成像模式得到的同一器官图像虽然会有不同的灰度、分辨率、图像尺寸,但对于同一器官而言,其边界是确定的,不因成像模式不同而发生很明显的变化,所以同一器官边界上大部分对应像素点的梯度方向是相同或是相反的^[5]。因此结合梯度信息的互信息在配准过程中需要计算每个像素的梯度值,再结合互信息得到一个相似函数。但是红外与

可见光图像不仅具有不同的灰度值,而且局部区域甚至存在灰度反转,因此红外图像与可见光图像配准若采用结合梯度信息的互信息配准不仅运算量很大而且还会造成误匹配。在二阶熵形式的互信息配准中计算二阶联合熵时要用到四维联合直方图,共需要计算 n^4 个灰度组合的概率(n 为图像的等级),使计算中占用的内存显著增加,降低计算的速度,以灰度等级为 256 为例,在内存为 1G 的计算机上只能计算三维联合直方图。基于互信息的图像配准方法要对整幅图像的灰度信息进行统计,配准速度本来就很慢,如果采用二阶熵形式的互信息,速度会更慢。因此文中提出基于邻域信息的互信息配准算法,在互信息计算中图像中每个像素的灰度值由邻域像素的灰度值按照距离分配不同的权值共同得到,这样既利用像素的灰度信息又利用了图像像素之间的空间信息。

基于邻域信息的信息熵公式如下:

$$H(A') = - \sum_{j=1}^n P_A(a'_j) \log P_A(a'_j) \quad (5)$$

$$H(B') = - \sum_{j=1}^n P_B(b'_j) \log P_B(b'_j) \quad a'_j, b'_j \in [0, 255] \quad (6)$$

$$a'_j = \sum_i \omega_i a_i \quad (7)$$

$$b'_j = \sum_i \omega_i b_i \quad (8)$$

其中 a_i 和 b_i 为图像 A, B 像素的灰度值, a'_j 和 b'_j 为图像 A, B 结合了邻域信息以后的灰度值, $P(a'_j)$ 与 $P(b'_j)$ 是图像 A 和 B 中结合邻域信息后灰度值为 a'_j 与 b'_j 的像素出现的频数。 ω_i 取值如下:

$$\omega_i = \begin{cases} 0.5 & x = 0 \\ 0.34/n_1 & 0 < x \leq 1 \\ 0.16/n_2 & 1 < x \leq 2 \\ 0 & x > 2 \end{cases} \quad (9)$$

其中 x 为图像中的像素和当前所求像素的距离, ω_i 满足 $\sum \omega_i = 1$, n_1 是 x 为 1 时的像素总个数, n_2 是 x 为 2 时的像素总个数。

在 ω_i 的取值公式中如果 x 选取过大将会导致在计算 a'_j 和 b'_j 的时候过多引入灰度值与 a'_j, b'_j 没有联系的像素,不仅影响了配准精度,还增加了计算量,影响了配准速度。由于相邻像素灰度值之间存在着联系,离像素 a'_j, b'_j 越近的像素其灰度值和 a'_j, b'_j 联系越紧密,而在一幅二维图像所有的像素中只有 a'_j, b'_j 与它们本身的联系最为紧密,因此在计算时将 a'_j, b'_j 的权系数设为 0.5,而将 a'_j, b'_j 所有邻域像素的权系数设为 0.5。在 a'_j, b'_j 所有邻域像素中根据 x 的值其灰度值和 a'_j, b'_j 联系的紧密程度又应该有

所不同,因此将 x 为 1 的像素的权系数设为 $0.34/n_1$, 而将 x 为 2 个像素的所有像素的权系数设为 $0.16/n_2$ 。这样 ω_i 的值和 x 的值具有一定的联系,邻域信息可以很好地参与到配准中。

图 1 给出了基于邻域信息的信息熵中某一灰度值计算示意图。

a'_1	a'_2	a'_3	a'_4	a'_5
a'_6	a'_7	a'_8	a'_9	a'_{10}
a'_{11}	a'_{12}	a'_{13}	a'_{14}	a'_{15}
a'_{15}	a'_{16}	a'_{17}	a'_{18}	a'_{19}
a'_{20}	a'_{21}	a'_{22}	a'_{23}	a'_{24}

$$a'_{13} = \sum_{i=1}^{24} \omega_i * a_i$$

图 1 基于邻域信息的信息熵中某一灰度值计算示意图

两幅图像像素的联合熵 $H(A', B')$ 定义为:

$$H(A', B') = - \sum_A \sum_B P_{AB}(a'_j, b'_j) \log P_{AB}(a'_j, b'_j) \quad (10)$$

$a'_j, b'_j \in [0, 255]$

即两幅图像的信息熵是由概率分别为 $p(a'_1), p(a'_2), \dots, p(a'_j)$ 与 $p(b'_1), p(b'_2), \dots, p(b'_j)$ 的一系列像素灰度值为 a'_1, a'_2, \dots, a'_j 与 b'_1, b'_2, \dots, b'_j 所提供的平均信息量,与传统互信息所不同的是 a'_j 与 b'_j 并不是图像像素的实际值而是由该邻域像素的灰度值共同得到。由于红外图像和可见光图像的差异,在可见光图像中出现的灰度值在红外图像中不一定会出现,从而导致某些灰度的缺失;同时数字图像的采集过程中往往伴随着各种各样的噪声,这样都会影响配准精度。基于邻域信息的信息熵计算公式由于每个像素的灰度值由邻域像素共同决定,因此可以减少灰度的丢失,并且对图像中出现的噪声具有一定的平滑作用,提高了配准精度。基于邻域信息的互信息熵可以表示为:

$$I(A', B') = H(A') + H(B') - H(A', B') \quad (11)$$

结合邻域信息互信息归一化(简称 ENMI):

$$\text{ENMI}(A', B') = \frac{H(A') + H(B')}{H(A', B')} \quad (12)$$

基于邻域信息的互信息配准算法与传统互信息以及现有的一些对互信息改进配准算法相比具有如下优点:

- (1) 克服了传统互信息中缺少对空间位置信息的考虑;
- (2) 减少了灰度的缺失;
- (3) 克服了由于图像的噪声较大而削弱图像之间的相关性;
- (4) 与传统的互信息配准算法相比,基于邻域信息

的互信息配准算法在计算信息熵时只增加了少量的运算,以很小的代价换来了较高的配准精度;与二阶熵和结合梯度的互信息配准算法相比,不需要计算四阶联合直方图,也不需要计算每个像素的梯度值,因此在计算中降低了内存,增加了配准速度。

2 实验步骤及结果数据

实验程序是在 PC 机上用 VC6.0 编程完成,图 2 (a)为原始的可见光图像,图 2(b)为原始的红外光图像,图 2(c)为添加噪声以后的图像,图 3 为采用传统互信息(NMI)和基于邻域信息的互信息(ENMI)配准算法的配准曲线,由于篇幅原因仅给出了角度旋转时的配准曲线图。为了更有效地验证算法,将图像进行变化,分别用 NMI 和 ENMI 各进行 5 次配准,表 1 是将红外图像旋转 3 度, x 方向平移 30 个像素, y 方向平移 30 个像素后与可见光图像进行配准的结果,表 2 是将红外图像旋转 3 度, x 方向平移 30 个像素, y 方向平移 30 个像素并添加高斯噪声后与可见光进行配准的结果。

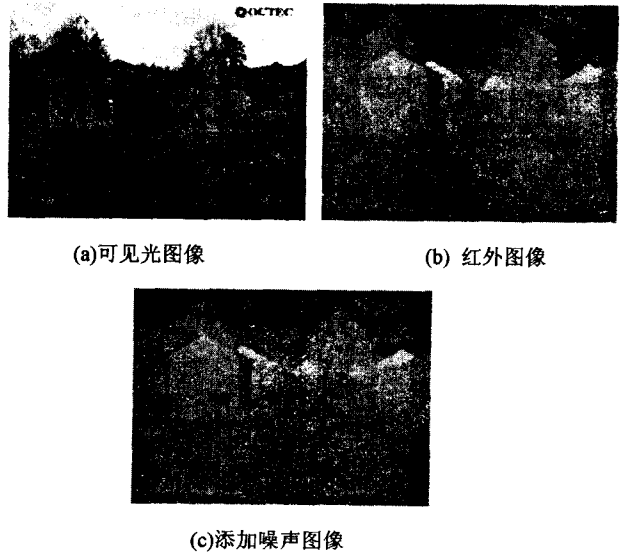


图 2 可见光与红外图像以及红外添加噪声图像

从图 2 和表 1 及表 2 的实验结果可以看出 ENMI 配准算法与传统的互信息算法相比,由于充分利用了邻域信息,因此配准曲线更加光滑,在目标参数寻优过程中更易于找到极值,提高了配准的精度和抗噪能力。

表 1 配准结果比较

基于邻域信息的互信息			传统互信息		
旋转	x 轴平移	y 轴平移	旋转	x 轴平移	y 轴平移
2.90	32	29	2.35	32	28
3.10	32	29	2.70	34	27
2.90	32	28	2.80	34	28
2.80	30	28	2.80	31	27
2.90	33	29	2.75	32	28

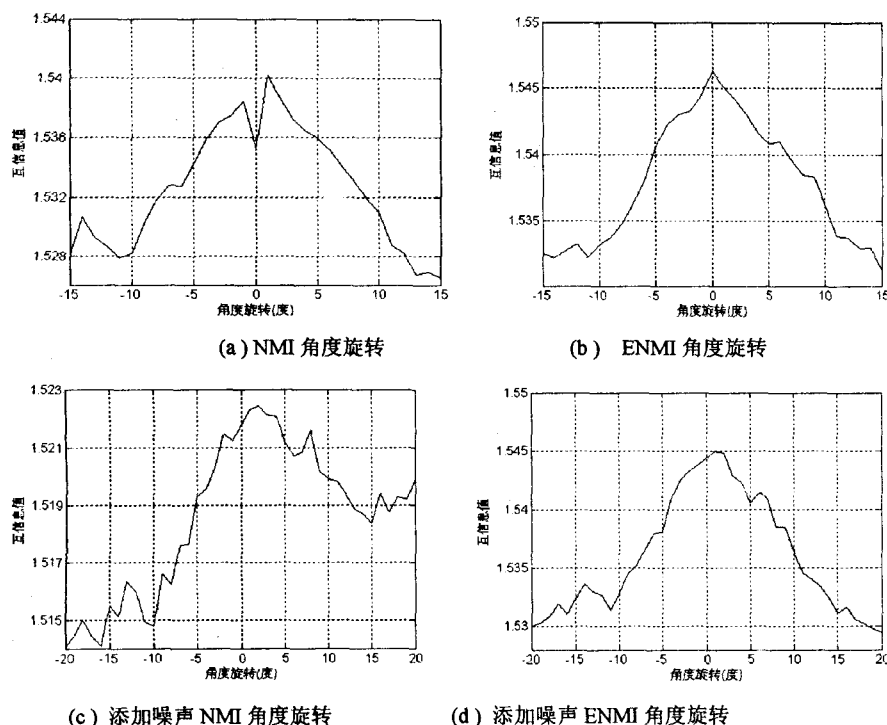


图 3 采用 NNI 和 ENMI 角度配准曲线对比

表 2 添加噪声配准结果比较

基于邻域信息的互信息			传统互信息		
旋转	x 轴平移	y 轴平移	旋转	x 轴平移	y 轴平移
2.80	33	29	2.60	34	29
3.20	33	28	2.70	35	29
3.20	35	30	2.80	35	32
3.40	34	28	3.40	34	27
3.00	34	31	1.70	33	34

3 结束语

文中提出了一种基于邻域信息的互信息配准算法,该算法既利用了图像的灰度互信息又充分利用了

图像像素的空间信息,通过大量实验证明在红外与可见光图像配准中采用该算法与采用传统的互信息配准算法相比配准曲线更加光滑,从而在目标参数寻优过程中更易于找到极值,提高了配准精度和抗噪能力。

参考文献:

- [1] Collignon A, Maes F, Delaere D, et al. Automated multimodality medical image registration using information theory [C]//Proc 14th Int Conf Information Processing in Medical Imaging (IPMI, 95). Ile de Berder, France: IEEE Press, 1995: 263-274.
- [2] Josien P, Antoine J, Max V. Image registration by maximization of combined mutual information and gradient information[J]. IEEE Trans on Medical Image, 2000, 19(8): 809-814.
- [3] Rueckert D, Clarkson M J, Hill D L G, et al. Non-rigid registration using higher-order mutual information [C]//Proc SPIE Medical Imaging 2000: Image Processing. San Diego, CA: [s. n.], 2000: 438-447.
- [4] Studholme C, Hill D L G, Hawkes D J. An overlap invariant entropy measures of 3D medical image alignment[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(1): 71-86.
- [5] 姜晓彤, 罗立民, 赵正旭. 一种改进的基于互信息和梯度特征的图像配准方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(9): 1141-1146.

(上接第 150 页)

部也有同样的 Gold 序列生成电路,把接收到单片机发送来的 Gold 序列与内部生成的 Gold 序列进行比较。若相同, FPGA 用户设计开始工作;若不相同,则 FPGA 用户设计不工作。

3 结束语

文中提出了一种针对基于 SRAM 的 FPGA 进行加密的方法,该方法简单方便、保密性好、容易升级,适用于价格敏感的场所。在对外部单片机的选择方面,除了 STC 单片机外,也可以采用其他保密性好的单片机对 FPGA 进行加密;在加密算法方面,由于 Gold 序列是由 m 序列产生,具有一定的局限性,还可以使用安全性更高的 AES,提高加密算法的可靠性。

参考文献:

- [1] Virtex-4 系列概述[EB/OL]. 2007-01-23. www.xilinx.com.
- [2] XILINX®FPGA IFF Copy Protection with 1-Wire SHA-1 Secure Memories[M]. Dallas: [s. n.], 2006.
- [3] 刘晓明, 谢明钦, 王 军. 用单片机实现 SRAM 工艺 FPGA 的加密应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003(7): 17-20.
- [4] Ray S. A Whitepaper on SRAM FPGA security[EB/OL]. 2003-02. http://www.fpga.com.cn & www.pld.com.cn.
- [5] 肖俊安, 周祖德. 高效真随机序列生成方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2006(16): 1-3.
- [6] Daemen J, Rijmen V. 高级加密标准(AES)算法——Rijndael 的设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.