

基于彩色图像融合新算法的隐藏武器检测研究

王亚杰^{1),2)} 徐心和¹⁾

¹⁾(沈阳航空工业学院工程训练中心,沈阳 110136) ²⁾(东北大学信息科学与工程学院,沈阳 110004)

摘要 针对隐藏在衣服下的武器融合检测问题,提出了一种彩色可见光图像和红外图像融合的新算法。该算法在基于RGB、HSV和LAB彩色空间变换的基础上,使用了双树复数小波变换技术,该变换明显具有平移不变性、方向选择性、有限数据冗余性、完美重构性和较高计算效率等特点,在融合方面优于其他的小波变换。融合后的图像保持了可见光图像的高分辨率;保留了红外图像中检测出的隐藏武器;维持了可见光图像的自然色彩。该融合技术的可行性在实验中得到了验证。

关键词 彩色图像 红外图像 图像融合 双树复小波变换 隐藏武器检测

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)03-0520-05

Concealed Weapon Detection Research Based on Color Image Fusion New Algorithm

WANG Ya-jie^{1),2)}, XU Xin-he¹⁾

¹⁾(Engineering Training Center, Shenyang Institute of Aeronautic Engineering, Shenyang 110136)

²⁾(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract A new algorithm was presented to fuse color visual image and infrared(IR) image aiming at detecting weapons hidden underneath a person's clothing. This algorithm combined dual-tree complex wavelet transform (DT-CWT) with RGB, HSV and LAB color space. DT-CWT was used due to its better properties than other wavelet transform in fusion. These properties include shift invariance, directional selectivity, limited redundancy, perfect reconstruction and computational efficiency. The fused image maintained the high resolution of the visual image, incorporated any concealed weapons detected by the IR sensor, and kept the natural color of the visual image. The feasibility of the proposed fusion technique is demonstrated by some experimental results.

Keywords color image, IR image, image fusion, DT-CWT, concealed weapon detection

1 引言

在军事领域,尤其是打击恐怖分子方面,关于隐藏武器检测(concealed weapon detection, CWD)技术的研究已成为一个很重要的课题。现有CWD方面的图像传感器主要包括:红外(IR)、毫米波(MMW)和可见光,任何单个的传感器都不能提供

全面的图像描述,只有图像融合技术可以真正实现CWD方面的目的^[1-2]。目前具有代表性的融合方法是基于多尺度分解的方法,Zhang等人对多尺度分解方法进行了分类^[3],主要有金字塔方法、离散小波变换和离散小波框架变换方法等。基于生物学的研究表明,人类视觉系统对色彩非常敏感,为此一些研究者开始进行彩色融合研究。将多光谱图像的3个单色图像映射成RGB图像的3个通道,以产生一

基金项目:国家自然科学基金项目(60475036);辽宁省教育厅科技研究项目(2008549)

收稿日期:2007-05-11;改回日期:2007-10-17

第一作者简介:王亚杰(1968~),女,副教授。2007年于东北大学获博士学位。主要研究方向为图像处理、图像融合、模式识别等。

E-mail:wangyajie@sina.com

个伪彩色融合图像,该技术称为彩色合成方法。另一个彩色融合技术是基于对立色处理方法(红色对应绿色、蓝色对应黄色),例如:Waxman 和 Aguilar 等人使用神经网络对低光可视图像和红外图像进行融合产生 1 个三通道的伪彩色融合图像^[4-5]。

现有的有关 CWD 融合检测的研究大都也是针对灰度图像的,而基于彩色图像融合检测方面的报道却较少。本文开展彩色可见光图像与红外图像的融合研究,目的是为了更精确地检测出武器隐藏在哪个个人身上、人身上的哪个位置以及武器本身的形状特点等,另外还要求准确描述出藏有武器的人的外观情况,例如长相、衣服颜色等,特别是当人很多时,以便更准确地判断与识别,这是灰度 CWD 所不具备的。Xue 等人已提出基于框架小波变换的隐藏武器融合检测方法^[6],本文在此基础上,提出了基于双树复小波变换的方法,Hill 等人的研究已表明,在各种小波类图像融合算法中,双树复小波变换的性能最好^[7],本文所提融合算法即能保持可见光图

像的高分辨率和自然色彩,又能准确保留红外图像中检测出的武器。

2 双树复小波变换原理

1999 年, Kingsbury 提出了双树复小波变换 (DT-CWT)^[8-9],它具有以下特点:近似平移不变性;良好方向选择性;有限数据冗余;高效计算效率;较好重构效果。DT-CWT 变换可以通过两棵离散小波树 (Tree A, Tree B) 并行实现实部和虚部运算,如图 1 所示,两棵树分别作用于图像的行上和列上,产生双树结构。每一级分解时得到两个低频近似子带分别记做 $A_{(j+1,1)}$ 和 $A_{(j+1,2)}$,同时得到 6 个不同方向 ($\pm 15^\circ, \pm 45^\circ, \pm 75^\circ$) 的高频细节子带 $D_{(j+1,m)}$, $m=1, \dots, 6$,比其他小波变换多 3 个方向,可提高图像分解与重构的精度,并能保留图像的细节信息。无论 DT-CWT 分解树有多深,其总体数据冗余都为 4:1。

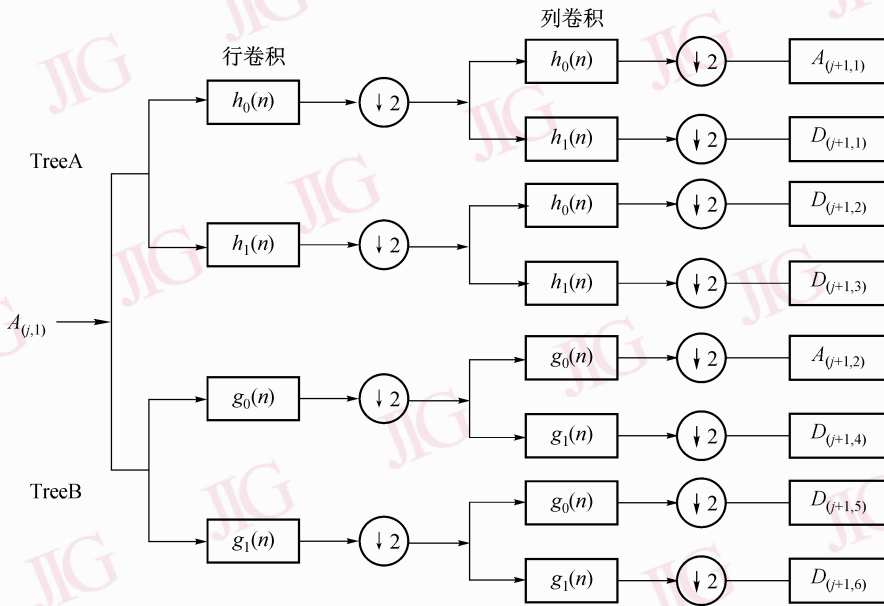


图 1 2 维双树复数小波变换

Fig. 1 Two dimensions dual-tree complex wavelet transform

图 2 是 2 维 DT-CWT 小波滤波器脉冲响应,表示变换后的 6 个方向,每个方向上有两种小波作用,第 1 行表示复数小波的实部,第 2 行表示虚部,第 3 行表示复数小波的幅值。滤波器的实部和虚部分别具有偶对称和奇对称,它们近似为 Hilbert 变换,由于滤波器响应的模值在特征中心取得极大值、在特征两边逐渐衰减,这从根本上消除了由于滤波器震荡而产生

的 Gibbs 效应。

3 彩色图像融合方法

3.1 彩色空间变换

要融合的源图像是 RGB 空间,RGB 是一个与设备相关、颜色描述不完全直观的空间,常被用于显

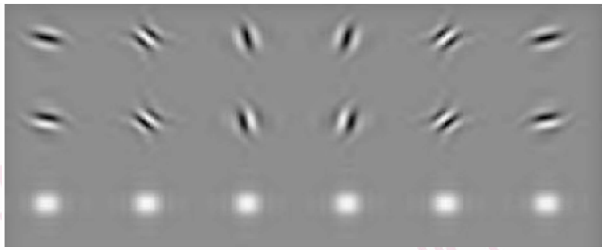


图 2 2 维 DT-CWT 的小波滤波器脉冲响应

Fig. 2 Two dimensions DT-CWT wavelet filter pulse respond

示图像。HSV 空间是面向用户的一种复合主观感觉的色彩模型^[10],它更接近于人们对颜色的感知, H 是色度,当它由 0 变到 1 时,HSV 的颜色由红变为黄、绿、青、蓝、洋红,然后变为红色; S 为饱和度,当它由 0 变到 1 时,颜色由不饱和变为饱和; V 是亮度,也称为强度,它与颜色无关,当它由 0 变到 1 时,颜色越来越亮。 V 通道将被进行融合处理,而 H 和

S 这两个通道承载的是彩色信息,它们将被用于给出融合图像的自然色彩。

除了 HSV 空间外,还使用了 LAB 彩色空间,它是 1976 年由 CIE 定义的标准颜色空间,它是基于对立色理论和参考白点而建立的,与设备无关,适用于接近自然光照的应用场合。LAB 空间中的 L 表示亮度, A 表示红-绿色, B 表示黄-蓝色,这个彩色空间在本文中用于校正融合图像的颜色。

3.2 彩色图像融合算法

基于 DT-CWT 和彩色空间变换的融合算法,如图 3 所示,首先输入的可见光图像 V_{RGB} 从 RGB 空间变换到 HSV 空间得到图像 V_{HSV} (V_H 、 V_S 、 V_V),在融合步骤中,需要使用源 IR 图像和反向的 IR 图像(记为 IR^{-1}),这是因为反向 IR^{-1} 能使隐藏武器显示的更明显。 V_V 通道要分别与 IR 和 IR^{-1} 进行融合。

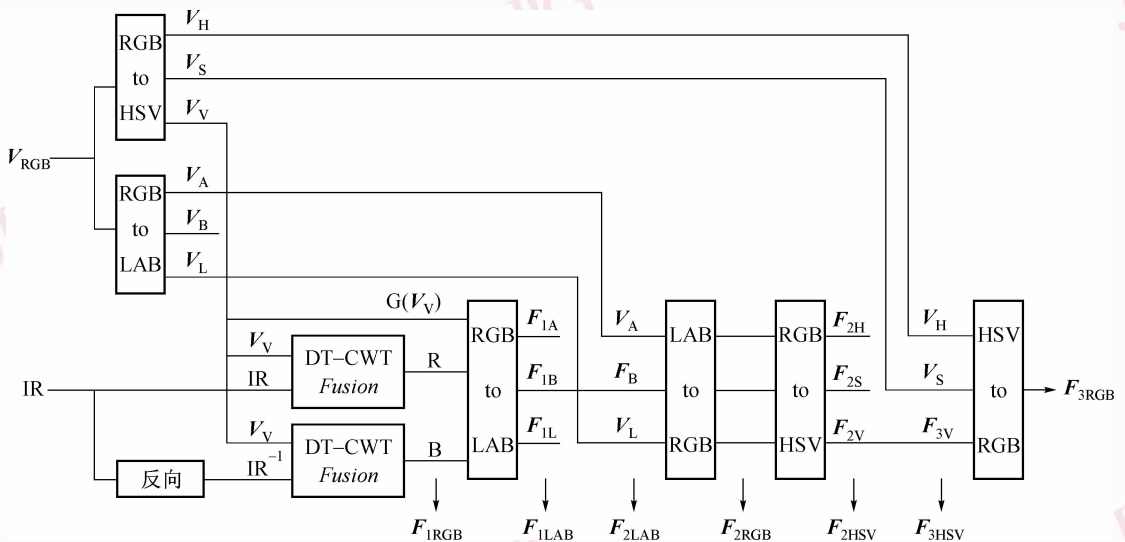


图 3 彩色图像融合算法

Fig. 3 Color image fusion algorithm

在融合算法中使用 DT-CWT 变换,它的基本思想是:对融合的源图像进行双树复小波分解,每个分解层有 6 个方向的高频细节图像和 2 个低频近似图像,通过一定的融合规则对各子带小波系数进行融合后,再进行反变换,得到融合后的图像。由于可见光和红外图像具有不同特征,要想得到完全的图像配准是非常难的一件事,所以 DT-CWT 变换所具有的移不变性和方向选择性对于融合可见光和红外图像来说至关重要。由于本文侧重研究 DT-CWT 与各种彩色空间变换相结合方法的可行性,所以融合规则选用了比较典型的方法:低频子带采用加权平

均方法、高频子带采用窗口能量取大方法。

通过融合,获得两个灰度级融合图像后, V_V 与 IR 融合后的图像被指定为红色通道(R 通道), V_V 与 IR^{-1} 融合后的图像被指定为蓝色通道(B 通道),再将 V_V 指定为绿色通道(G 通道),合成后的图像被称为伪彩色图像 F_{IRGB} ^[4-5]。下一步工作是给这个伪彩色图像更自然的色彩,即更接近于源彩色可见光图像的颜色。

在 IR^{-1} 图像中武器区域(冷区域)表现得比较亮,融合后的图像 F_{1B} 中同样比较亮,由于它又被指定为蓝色通道,所以在融合后的 F_{1RGB} 图像中,这个

冷区域显示为蓝色是合理的。为了既要维持自然彩色,还要保留互补信息(武器),接下来将伪彩色图像 F_{1RGB} 和可见光图像 V_{RGB} 分别从 RGB 空间变换到 LAB 空间,分别用 $F_{1LAB}(F_{1L}, F_{1A}, F_{1B})$ 和 $V_{LAB}(V_L, V_A, V_B)$ 表示,用可见光图像 V_{LAB} 中的 L 和 A 通道替换 F_{1LAB} 中的 L 和 A 通道,即通过下式得到一个新的图像 $F_{2LAB}(F_{2L}, F_{2A}, F_{2B})$,

$$(F_{2L}, F_{2A}, F_{2B}) = (V_L, V_A, F_{1B}) \quad (1)$$

然后图像 F_{2LAB} 再从 LAB 变换到 RGB 得到图像 F_{2RGB} ,这时的 F_{2RGB} 图像比较接近于可见光图像的颜色,并且融入了 IR 图像中的武器信息。

然而背景和人的身体区域的颜色还是需要进一步的校正。先将 F_{2RGB} 从 RGB 变换到 HSV 得到 $F_{2HSV}(F_{2H}, F_{2S}, F_{2V})$,再用 V_{HSV} 的 V_H 与 V_S 替换 F_{2H} 与 F_{2S} ,又得到一个新图像 $F_{3HSV}(F_{3H}, F_{3S}, F_{3V})$,

$$(F_{3H}, F_{3S}, F_{3V}) = (V_H, V_S, F_{2V}) \quad (2)$$

F_{3HSV} 从 HSV 空间再转换到 RGB 空间,得到图像 F_{3RGB} 就是所需要的图像。

4 实验测试与分析

为了验证所提融合算法的可行性和有效性,对经过配准的两组图像进行了实验测试,采用 Matlab 编程环境,结果如图 4 和图 5 所示。图 4 分别显示了融合各个阶段产生的图像,图 4(a)是源彩色可见光图像,图 4(b)是红外图像,从图中可以观测到,因

为人的身体有较高热量散射,所以红外图像中人的身体比背景要亮,而背景几乎是黑色的,只有较少的细节信息,人身上的武器比背景更黑,这是由于武器的温度更低一些的结果;可见光图像的分辨率要比红外图像高,但看不见隐藏在衣服下的武器。图 4(c)是源可见光图像经 HSV 变换后的灰度图像 V_V ,图 4(d)是反向的 IR 图像。图 4(e)是 V_V 与 IR 图像使用 DT-CWT 技术融合后的图像,在这个图像里,能清晰识别出隐藏的武器和人的脸,然而背景却没有源可见光图像的灰度级图像清晰,该图像又被映射为伪彩色图像 F_{1RGB} 的 R 通道。图 4(f)是 V_V 与 IR^{-1} 图像使用 DT-CWT 技术融合后的图像,与图 4(e)相比,背景清晰了,但人体不清晰,这是由于在 IR^{-1} 图像中人体部分具有较低强度造成的,该图像又被映射为伪彩色图像 F_{1RGB} 的 B 通道。图 4(g)是伪彩色图像 F_{1RGB} ,与图 4(e)和图 4(f)相比,背景、人脸和武器都能看得清楚,然而颜色与源可见光图像却有很大的不同。图 4(h)是经过 LAB 空间调整后的彩色图像 F_{2RGB} ,它比 F_{1RGB} 更接近于源可见光图像的颜色,然而武器和部分背景区域仍然显示为蓝色。图 4(i)是又经过 HSV 空间调整后的彩色图像 F_{3RGB} ,这个图像非常接近源彩色可见光图像,并提供了非常好的武器描绘。图 4(j)显示的是图像 F_{3HSV} 的 V 通道,很显然这个图像也比灰度级融合图像图 4(e)和图 4(f)的效果都好。

图 4 彩色可见光图像与红外图像融合结果(I)

Fig. 4 Fusion results of color visible image and IR image (I)

图 5 彩色可见光图像与红外图像融合结果(II)

Fig. 5 Fusion results of color visible image and IR image(II)

图 5 的融合结果也验证了本文所提算法的适应性和有效性。虽然图 4 和图 5 中融合后的灰度级图像 F_{3V} 都具有较好效果,但它明显没有彩色融合图像描述的全面、准确,例如,对于身上藏有武器的人,灰度级图像不可能指出他穿什么颜色的衣服,当人群很多的时候,明显不利于识别与判断。

5 结 论

本文运用基于 DT-CWT 小波变换的融合方法,结合 RGB、HSV 与 LAB 彩色空间变换技术,针对彩色可见光图像和红外图像,提出了一种新的彩色图像融合算法,并在隐藏的武器检测方面得到了较好应用。经过实验测试,融合后的彩色图像取得了较好效果,保持了可见光图像的高分辨率;保留了红外图像中检测出的隐藏武器;维持了可见光图像的自然色彩。较好的融合效果为进一步的场景描述、判断识别等提供了有力的基础。彩色图像融合效果的客观定量评价方法将成为今后的研究方向。

参考文献 (References)

- Zhang Z, Blum R S. A region-based image fusion scheme for concealed weapon detection [A]. In: Proceedings of 31st Annual Conference on Information Sciences and Systems [C], Baltimore, MD, USA, 1997: 168-173.
- Uner M K, Ramac L C, Varshney P K. Concealed weapon detection: An image fusion approach [A]. In: Proceedings of SPIE [C], Boston, MA, USA, 1997: 123-132.
- Zhang Z, Blum R S. A categorization of multiscale decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. Proceedings of IEEE, 1999, 87 (8): 1315-1326.
- Waxman A M, Aguilar M, Baxter R A, et al. Opponent-color fusion of multi-sensor imagery: Visible, IR and SAR [A]. In: Proceedings of IRIS Passive Sensors [C], Saeby, Demark, 1998: 43-61.
- Aguilar M, Fay D A, Ross W D, et al. Real-time fusion of low-light CCD and uncooled IR imagery for color night vision [A]. In: Proceedings of the SPIE [C], Bellingham, WA, USA, 1998: 124-135.
- Xue Zhi-yun, Blum R S. Concealed weapon detection using color image fusion [A]. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Information Fusion [C], Queensland, Australia, 2003: 622-627.
- Hill P, Canagarajah N, Bull D. Image fusion using complex wavelets [A]. In: Proceedings of the British Machine Conference [C], Cardiff, UK, 2002: 487-496.
- Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: A new technique for shift invariance and directional filters [A]. In: Proceedings of 8th IEEE Digital Signal Processing Workshop [C], Bryce Canyon, Utah, USA, 1998: 86-89.
- Zhou Jin, Zuo Dun-wen, Li Xiang-feng, et al. Dual-tree complex wavelet transform for chip images threshold denoising [J]. Journal of image and graphics, 2004, 9(9): 1069-1074. [周瑾, 左敦稳, 黎向锋等. 基于双树复数小波变换的切屑图像阈值去噪 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(9): 1069-1074.]
- Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing, Second Edition [M]. Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.