

致,所以直接利用 SPOT 影像去替代第 1 主分量,会导致丢失部分 TM 影像的光谱信息,容易造成光谱失真。

在 PCA 融合算法中,若改变用 SPOT 全色影像直接替代 TM 影像的第 1 主分量的方式,通过选取合适的融合算法,对 TM 影像的第 1 主分量与 SPOT 影像进行融合,就既融入了 SPOT 影像的细节信息,又保留了 TM 影像第 1 主分量的光谱信息,从而使最终融合的影像在多光谱信息的保持与空间细节信息表现能力的综合性能得到提高。下面选用基于特征的小波变换融合法来融合 TM 影像的第 1 主分量与 SPOT 影像,得到一种基于 PCA 变换与小波变换的融合算法。具体步骤如下:

首先,对 TM 影像进行主分量变换,求出 TM 影像各波段间相关矩阵的特征值和特征向量,然后求得各主分量;

其次,将 SPOT 影像与第 1 主分量作直方图匹配;

再次,利用基于特征的小波变换融合法来融合 TM 影像的第 1 主分量和 SPOT 影像,把融合结果替代 TM 影像的第 1 主分量;

最后,对 TM 影像的 3 个主分量作逆主分量变换就得到最终的融合影像。

为了验证该算法的有效性,本节依然采用图 11-2 与图 11-3 的影像作为原图进行处理。该算法的融合影像如图 11-11 所示,基于 PCA 变换的融合影像如图 11-12 所示,它们的小波分解层数均为 4。其性能统计参数如表 11-4 所示。

表 11-4 性能统计参数

| 影像及算法          |       | 均值     | 方差     | 信息熵   | 相关系数  | 扭曲程度   | 偏差指数  | 清晰度    |
|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| TM 影像          |       | 98.89  | 33.060 | 4.621 | —     | —      | —     | 3.994  |
| SPOT 影像        |       | 60.48  | 46.703 | 5.007 | —     | —      | —     | 11.635 |
| PCA            |       | 100.3  | 43.652 | 4.867 | 0.261 | 33.095 | 0.333 | 10.952 |
| 特征 WT          | $n=1$ | 120.26 | 47.386 | 5.022 | 0.693 | 23.742 | 0.264 | 11.415 |
|                | $n=2$ | 118.53 | 46.214 | 4.950 | 0.651 | 23.959 | 0.268 | 12.275 |
|                | $n=3$ | 117.25 | 47.182 | 4.990 | 0.640 | 25.189 | 0.278 | 12.671 |
|                | $n=4$ | 115.63 | 47.852 | 5.052 | 0.630 | 26.131 | 0.284 | 12.827 |
|                | $n=5$ | 114.04 | 48.332 | 5.100 | 0.608 | 27.347 | 0.295 | 12.920 |
| 特征<br>PCA + WT | $n=1$ | 115.87 | 43.316 | 4.971 | 0.699 | 19.192 | 0.217 | 10.317 |
|                | $n=2$ | 115.10 | 43.782 | 4.991 | 0.685 | 20.932 | 0.234 | 11.353 |
|                | $n=3$ | 114.00 | 44.649 | 5.016 | 0.673 | 22.389 | 0.247 | 11.706 |
|                | $n=4$ | 112.60 | 45.137 | 5.065 | 0.655 | 23.730 | 0.258 | 11.876 |
|                | $n=5$ | 111.20 | 45.260 | 5.096 | 0.626 | 25.223 | 0.271 | 11.960 |

注:特征 WT 表示基于特征的小波变换融合法,特征 PCA + WT 表示基于 PCA 变换与小波变换的融合算法,PCA 表示 PCA 融合算法, $n$  表示小波分解的层数,表中“—”表示无数据。

从视觉效果上来看,融合后的结果影像保留了绝大部分光谱信息,在细节信息上具有明显的改善。与 PCA 变换融合方法相比较,该算法的融合影像在光谱信息的保持上比 PCA 变换融合算法的融合影像有明显的改善,在空间细节信息的表现能力上也有一定程度的提高。与基于特征的小波变换融合方法的融合影像相比较,该算法的融合影像在空



图 11-11 基于 PCA 变换和小波变换的融合影像( $n=4$ )

间细节信息的表现能力上相当,但光谱信息有明显的改善,总体效果优于前者。

对表 11-4 性能统计参数进行分析,可以得到如下几个结论。

(1) 与 PCA 变换融合算法的融合影像相比:

① 该算法的融合影像的信息熵与方差大于 PCA 融合算法的结果,说明该算法得到的融合影像包含的信息量大;

② 该算法的融合影像的扭曲程度与偏差指数小于 PCA 融合算法的结果,这又说明了该算法的融合影像在光谱特性的保持上比 PCA 融合算法的融合影像有较大的改善。

③ 该算法的融合影像的清晰度数值略大于 PCA 融合算法的结果,这说明该算法的融合影像的空间表现能力在整体上也略优于 PCA 融合算法的结果。

(2) 与基于特征的小波变换融合法的结果相比:

① 该算法的融合影像在方差与清晰度上略差与后者,但差异很小,说明其在空间细节信息的表现能力上与后者相当。

② 该算法的融合影像在信息熵上比后者大,说明该算法的融合影像从原始影像中获取了更多的信息。

③ 该算法的融合影像在扭曲程度与偏差指数上比后者小,说明该算法在光谱特性的保持上优于后者。

总之,主观视觉效果分析与客观统计参数评价分析表明,该算法是有效的,它不仅较

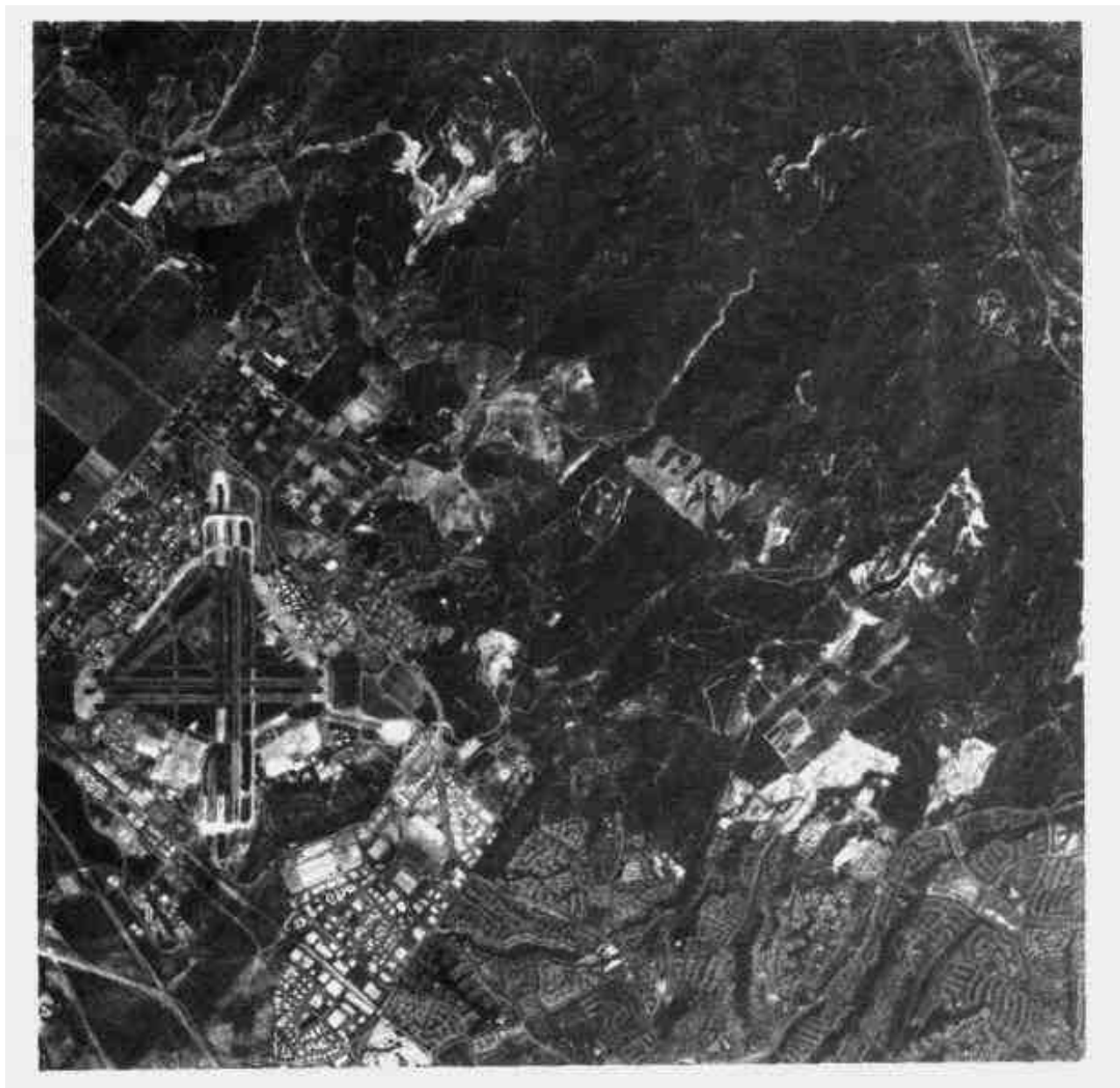


图 11-12 基于 PCA 变换的融合影像( $n=4$ )

大地增强了结果影像的空间细节表现能力,而且很好地保留了多光谱影像的光谱信息。其性能优于基于 PCA 变换的融合算法和基于特征的小波变换融合算法。

## 11.5 基于 IHS 变换与小波变换的融合算法

### 11.5.1 基于 IHS 变换的遥感影像融合

图像处理中常用的彩色坐标系统(或称彩色空间)有两种,一种是 RGB 空间,它是由红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色组成的彩色空间,是面向硬件的,几乎大部分的监视器都采用这种彩色模型,R,G,B 对应于监视器或扫描器的 3 个刺激值。另一种是 IHS 模型,它是基于视觉原理的一个系统,定义了 3 个互不相关,容易预测的颜色心理属性,亮度(I),色调(H)及饱和度(S)。其中,H 是表面呈现近似红、黄、绿、蓝等颜色的一种或几种的目视感知属性,S 是表示颜色具有“白光”的程度,I 是物体表面相对亮暗的特性。

IHS 空间中的 3 个分量  $I, H, S$  具有相对独立性,可分别对它们进行控制,并且能够准确定量地描述颜色特征。因此,在遥感影像融合中,常常需要把 RGB 空间转换为 IHS

空间,在 IHS 空间复合不同分辨率的数据,也就是基于 IHS 变换的遥感影像融合。

下面以 SPOT 影像与 TM 影像融合为例,将 SPOT 空间信息与 TM 光谱信息相结合为主要出发点,介绍基于 IHS 变换的遥感影像融合。如图 11-13 所示,首先对 TM 多光谱影像作 IHS 变换,得到  $I, H, S$  3 个分量;其次,调整高分辨率的 SPOT 影像,使其均值与方差等于  $I$  分量的均值与方差,把调整后的 SPOT 影像替代  $I$  分量,同时,分别对  $H, S$  两个分量作反差扩展,得到  $I', H'$  与  $S'$ ;最后,利用  $I', H'$  与  $S'$  作 IHS 反变换,得到  $R', G'$  与  $B'$ ,进行假彩色合成,即成为融合影像。

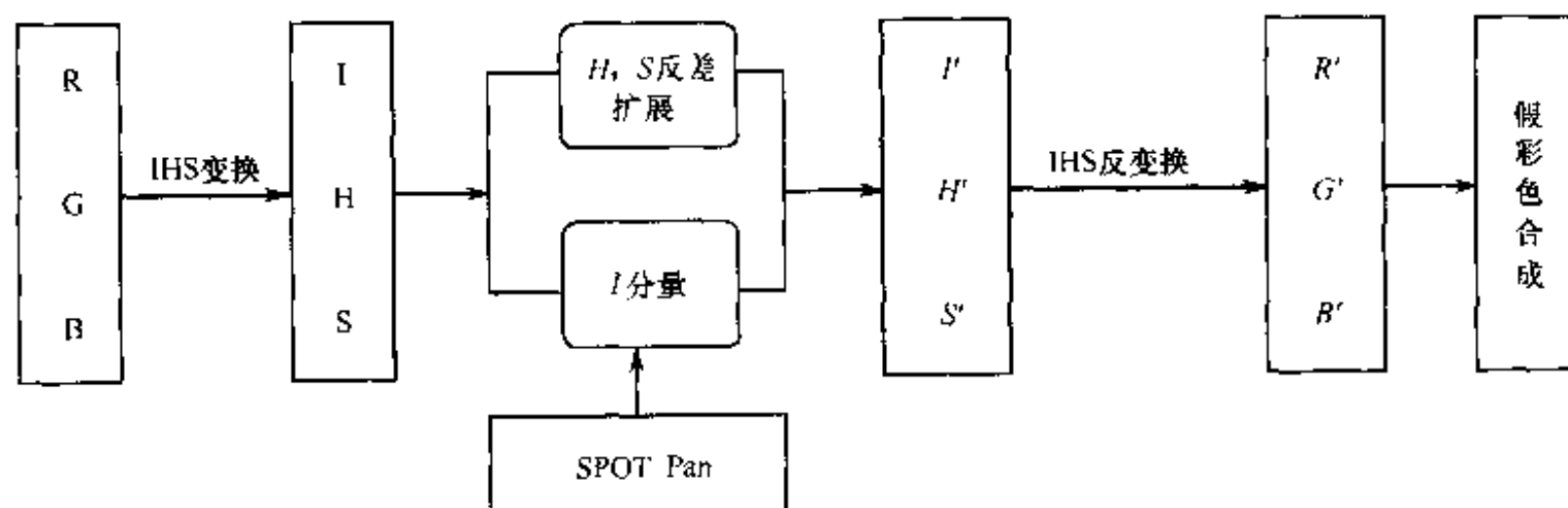


图 11-13 彩色空间变换融合 SPOT Pan 与 Landsat-TM 图像

一般来说,基于 IHS 变换融合法可以提高融合影像的空间细节表现能力,但光谱失真较大。

### 11.5.2 IHS 变换与小波变换相结合的融合算法

IHS 变换法融合的影像提高了影像的空间信息表现能力,但光谱失真严重。这是因为  $I$  分量的光谱特性与 SPOT 影像的光谱特性并不是完全一致,直接利用 SPOT 影像去替代  $I$  分量,导致丢失了大部分 TM 影像的光谱信息,造成光谱特性严重失真,融合效果并不是十分理想。

若在 IHS 融合算法中改变用 SPOT 全色影像直接替代 TM 影像的  $I$  分量的方式,通过选取合适的融合算法,对 TM 影像的  $I$  分量与 SPOT 影像进行融合,并用融合后的图像替代  $I$  分量,则既融入了 SPOT 影像的细节信息,又保留了 TM 影像  $I$  分量的光谱信息,从而使最终融合的影像在多光谱信息的保持与空间细节信息表现能力的综合性能得到提高。类似地,选用基于特征的小波变换融合法来融合 TM 影像的  $I$  分量与 SPOT 影像,得到一种基于 IHS 变换与小波变换的融合算法。具体步骤如下:

首先,对 TM 影像进行 IHS 变换,得到  $I, H, S$  3 个分量;

其次,将 SPOT 影像与  $I$  分量作直方图匹配;

然后,利用基于特征的小波变换融合法来融合 TM 影像的  $I$  分量和 SPOT 影像,把融合结果替代 TM 影像的  $I$  分量;

最后,对 TM 影像的  $I, H, S$  3 个分量作 IHS 反变换就得到最终的融合影像。

为了验证该算法的有效性,仍对图 11-2 与图 11-3 所示的影像进行融合,其融合影像如图 11-14 所示,它的小波分解层数为 4;基于 IHS 变换的融合影像如图 11-15 所示;其性能统计参数如表 11-5 所示。



图 11-14 基于 IHS 变换和小波变换的融合影像( $n = 4$ )

表 11-5 性能统计参数

|             |         | 均值    | 方差    | 信息熵   | 相关系数  | 扭曲程度   | 偏差指数  | 清晰熵    |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| TM 影像       |         | 98.89 | 33.06 | 4.621 | —     | —      | —     | 3.994  |
| SPOT 影像     |         | 60.48 | 46.70 | 5.007 | —     | —      | —     | 11.635 |
| IHS         |         | 100.3 | 43.39 | 4.974 | 0.251 | 33.362 | 0.339 | 11.027 |
| 特征 WT       | $n = 4$ | 115.6 | 47.85 | 5.052 | 0.630 | 26.131 | 0.284 | 12.827 |
| 特征 IHS + WT | $n = 1$ | 98.82 | 37.55 | 4.932 | 0.863 | 12.854 | 0.133 | 12.650 |
|             | $n = 2$ | 115.2 | 43.32 | 4.973 | 0.680 | 21.068 | 0.238 | 11.307 |
|             | $n = 3$ | 114.1 | 44.25 | 5.003 | 0.668 | 22.501 | 0.251 | 11.669 |
|             | $n = 4$ | 112.0 | 44.82 | 5.058 | 0.653 | 23.771 | 0.261 | 11.848 |
|             | $n = 5$ | 111.2 | 45.03 | 5.093 | 0.624 | 25.238 | 0.273 | 11.938 |

注:IHS表示IHS变换的融合算法,特征WT表示基于特征的小波变换融合法,特征IHS+WT表示基于IHS变换与小波变换的融合算法, $n$ 表示小波分解的层数,“—”表示无数据。

从视觉效果上来看,融合影像保留了绝大部分光谱信息,在细节信息上有明显的改

善;与 IHS 变换融合方法相比,该算法的融合影像在光谱信息的保持上有明显的改善,在空间细节信息的表现能力上也有了较大幅度的提高;与基于特征的小波变换融合法相比,该算法的融合影像在空间信息的表现能力上相当,在光谱信息的保持上有一定程度的提高,总体性能优于它。



图 11-15 基于 IHS 变换的融合影像

对表 11-5 的性能统计参数进行分析,可以得到如下几个结论。

(1) 与 IHS 融合算法的融合影像相比较:

① 该算法的融合影像的清晰度数值比后者的大,这说明该算法的融合影像在空间细节信息的表现能力上优于后者。

② 该算法的融合影像的相关系数比后者大,扭曲程度与偏差指数比后者小,这说明该算法的融合影像在光谱信息的保持上优于后者。

(2) 与基于特征的小波变换融合法的融合影像相比较:

① 该算法的融合影像在方差与清晰度上与后者相当,这说明该算法的融合影像在空间细节信息的表现能力上与后者相当。

② 该算法的融合影像在相关系数上比后者大,在扭曲程度与偏差指数上比后者小,这说明该算法的融合影像在光谱信息的保持上优于后者。

总之,主观视觉效果分析与客观统计参数评价分析表明,该算法是有效的,其性能优

于 IHS 变换融合算法与基于特征的小波变换融合算法。它不仅较大地增强了结果影像的空间细节表现能力,而且很好地保留了多光谱影像的光谱信息。

## 本章参考文献

- 1 郁文贤,雍少为,郭桂蓉.多传感器信息融合技术述评.国防科技大学学报,1994,16(3):1~11
- 2 章孝灿等.遥感数字图像处理.杭州:浙江大学出版社,1997
- 3 魏俊.多源遥感影像数据融合技术研究.解放军信息工程大学硕士学位论文,2002.6
- 4 康耀红.数据融合理论与应用.西安:西安电子科技大学出版社,1997
- 5 刘同明,夏祖勋,解洪成.数据融合技术机器应用.北京:国防工业出版社,1998
- 6 何友,王国宏,陆大鑫,彭应宁.多传感器信息融合及应用.北京:电子工业出版社,2000
- 7 何国金,李克鲁,胡德永.多卫星遥感数据的信息融合:理论、方法与实践.中国图像图形学报,1999,4A(9):744~750
- 8 贾永红,李德仁,孙家柄.多源遥感影像融合.遥感技术与应用,2000,15(1):41~44
- 9 Cliché F, Bonn F, Teillet P. Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancements. PE&RS, 1985, 51: 311~316
- 10 Freeman S B, Bolivar S L, Weaver T A. Display techniques for integrated data sets. Computers and Geosciences, 1983, 9(1): 59~64
- 11 Pellemans A H J M, Jorddams R W L, Allewijn R. Merging multispectral and panchromatic SPOT images with respect to the radiometric properties of the sensor. PE&RS, 1993, 59(1): 81~87
- 12 Price J C. Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments. Remote Sensing of Environment, 1987, 21: 119~128
- 13 Moran M S. A window-based technique for combining Landsat Thematic Mapper thermal data with higher-resolution multispectral data over agricultural lands. PE&RS, 1990, 56(3): 337~342
- 14 Hayden R, Dalke G W, Henkel J, Bare J E. Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. In: Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands, Cairo, Egypt, 1982, 599~616
- 15 Jim V. Multispectral imagery band sharpening study. PE&RS, 1996, 62(9): 1075~1083
- 16 Yesou H, Besnus Y, Rolet Y. Extraction of spectral information from Landsat TM data and merger with SPOT panchromatic imagery—A contribution to the study of geological structures. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1993, 48(5): 23~36
- 17 Ehlers M. Multisensor image fusion techniques in remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1991, 46: 19~30
- 18 Chavez P S, et al. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data, Landsat TM and SPOT Panchromatic. PE&RS, 1991, 57(3): 265~303
- 19 Solberg S, Jain A K, Taxt T. Multisource classification of remotely sensed data: fusion of Landsat TM and SAR images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(4): 768~777
- 20 Solberg S, Jain A K, Taxt T. A markov random field model for classification of multisource satellite im-

- agery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing, 1996, 34(1): 100 ~ 113
- 21 Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform. Graphical Models and Image Processing, 1995, 27(3): 235 ~ 244
- 22 Yocky D A. Image merging and data fusion by means of the discrete two dimensional wavelet transform. J Opt Soc Am A, 1995, 12(9): 1834 ~ 1841
- 23 Costantini M, Farina A, Zirilli F. The fusion of different resolution SAR images. In Proceedings of the IEEE, 1997, 85(1): 139 ~ 146
- 24 贾永红. 遥感多光谱影像空间分辨率增强的融合方法. 遥感技术与应用, 1997, 1: 19 ~ 23
- 25 何国金, 李克鲁. 星载合成孔径雷达遥感及多卫星数据融合方法. 地质科技情报, 1997, 16(sup): 29 ~ 33
- 26 崔岩梅, 倪国强, 钟堰利, 王毅, 钮永胜. 利用统计特性进行图像融合效果分析及评价. 北京理工大学学报, 2000, 20(1): 102 ~ 106
- 27 Xue Jingtao, Zhang Yujin, Liu Xinggang. Threshold selection using cross-entropy and fuzzy divergence. SPIE Electronic Imaging and Multimedia Systems II, 1998, 3561: 152 ~ 162
- 28 Burl P J, Adelson E H. Merging images through pattern decomposition. SPIE Applications of Digital Image Processing VII, 1985, 575: 173 ~ 181
- 29 朱述龙. 小波理论及其在图形图像中的应用. 解放军测绘学院博士学位论文, 1996. (3)
- 30 宁书年等. 遥感影像处理与应用. 北京: 地震出版社, 1995
- 31 蒋晓瑜, 高稚允, 周立伟. 基于假彩色的多重图像融合. 北京理工大学学报, 1997, 17(5): 646 ~ 649
- 32 高稚允, 金伟其, 徐丽芳等. 一种可实时化的多光谱图像融合系统. 光学技术, 1995, 4: 13 ~ 16
- 33 Toet A, Walraven J. New false color mapping for image fusion. Optical Engineering, 1996, 3: 650 ~ 658
- 34 Waxman A M. Color night vision: fusion of intensified visible and thermal IR imagery. Synthetic Vision for Vehicle Guidance and Control Proc SPIE, 1995, 2463: 58 ~ 68
- 35 Jiang X Y, Zhou L W, Gao Z Y. Multi-spectral image fusion using wavelet. SPIE, 1996, 2898: 35 ~ 41
- 36 贾永红. 遥感多光谱影像空间分辨率增强的融合方法. 遥感技术与应用, 1997, 12(1): 19 ~ 23
- 37 金红, 刘榴娣. 彩色空间变换法在图像融合中的应用. 光学技术, 1997, 4: 44 ~ 48
- 38 Dennis N Grasso. Applications of the IHS color transformation for 1:24000-scale geologic mapping: a low cost SPOT alternative. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 59(1): 73 ~ 80
- 39 王智均, 李德仁, 李清泉. 利用小波变换对影像进行融合的研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(2): 137 ~ 142
- 40 Schetselaar E M. Fusion by the IHS transform: should we use cylindrical or spherical coordinates. INT. J. Remote Sensing, 1998, 19(4): 759 ~ 765
- 41 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. Commun Pure Appl. Math, 1988, 41: 909 ~ 996
- 42 Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1989, 11(7): 674 ~ 693
- 43 Cohen A, Daubechies I, Feauveau J. Biorthogonal bases of compactly supported wavelets. Commun Pure Appl Math, 1992, XLV: 484 ~ 560

- 44 余二永,王润生.小波变换实现多光谱图像融合增强.计算机工程与科学,2001,23(1):47~50
- 45 Nunez J. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. IEEE Trans on Geosciences and Remote Sensing. 1999, 1204~1211
- 46 Ben Ezzel. Windows NT3.1 图形编程技术. 付祖云等.北京:电子工业出版社,1994
- 47 Schowengerdf R A. Reconstruction of multispectral image data using spatial frequency content. Photogrammetric Engineering & Remote sensing, 1980, 46(10):1325~1344
- 48 Chavez P S, *et al*. Comparison of the spectral information content of Landsat TM and SPOT for three different sites in the Phonix, Arizona, Region. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1988, 54(12):1699~1708.
- 49 金红.卫星遥感影像信息融合技术的研究.北京理工大学研究生学位论文,1997
- 50 倪秀平.星载 SAR 与 TM 影像融合方法的研究.解放军测绘学院硕士学位论文,1998(3)
- 51 贾永红.TM 和 SAR 影像主分量变换融合法.遥感技术与应用,1998,13(1):46~49

# 第 12 章

## 基于小波变换的 数字水印技术

数字水印(digital watermarking)是一种新的有效的数字产品版权保护和数据安全维护的技术,它是一种十分贴近实际应用的信息隐藏技术。数字水印是将具有特定意义的标记(水印),利用数字嵌入的方法隐藏在数字图像、声音、文档、图书、视频等数字产品中,用以证明创作者对其作品的所有权,并作为鉴定、起诉非法侵权的证据,同时通过对水印的检测和分析保证数字信息的完整可靠性,从而成为知识产权保护 and 数字多媒体防伪的有效手段。本章主要介绍小波变换在数字水印技术中的应用。

### 12.1 信息隐藏和数字水印技术

#### 12.1.1 信息隐藏技术

##### 1. 信息隐藏的概念

人们将秘密信息隐藏于普通文件之中,通过普通文件的发布而将秘密信息发送出去,这称为信息隐藏(Information hiding)。这一技术在古代被称为信息伪装术(Steganography)或称为隐写术,意思是将有用或重要的信息隐藏于其他信息里面以掩饰其存在。目前,信息隐藏再次受到人们的重视,其直接动力则来自计算机和网络的迅速发展。

近几年来,信息隐藏技术作为网络环境下一种新的信息安全技术受到越来越多的重视,相关的文献发表数量也随之激增。1996年~2001年,国际上召开了4届信息隐藏技术国际讨论会,国内自1999年以来也召开了3届信息隐藏学术会议,信息隐藏已成为当前信息科学前沿中一个新颖且具有广泛应用前景的研究热点。

##### 2. 信息隐藏的特点

信息隐藏不同于传统的加密,加密是用于保护信息内容的,其技术主要是研究如何将信息进行特殊的编码,以形成密文进行传递;而信息隐藏则是用来隐匿信息的存在,其技术是研究如何将某一信息隐藏于另一公开的信息中,然后通过公开信息的传输来传递秘密信息。对保密通信而言,信息经过加密后容易引起攻击者的好奇和注意,因此攻击者就可通过截取密文,并对其进行破译,或将密文进行破坏后再发送,从而影响信息的安全;但对信息隐藏而言,由于含有隐藏信息的媒体发布是公开的,而可能的攻击者难以从公开信