

基于小波变换的多分辨模板匹配

蒋晓瑜

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

黄应清

(北京装甲兵工程学院电子工程系, 北京 100072)

摘要 首先提出了在传统多分辨模板匹配中存在的问题,即基于灰度空间的传统算法面临着复杂的计算和补偿问题,然后引入一种基于小波变换的多分辨模板匹配算法,并且从统计分析和实验两方面进行了比较分析,发现新算法有效地克服了背景因素对匹配的影响,具有较高的匹配准确性,而且计算简明。

关键词 小波变换 高斯金字塔数据结构 多分辨模板匹配

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)04-0304-05

Multi-Resolution Template Match Using Wavelet Transform

JIANG Xiao-yu

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

HUANG Ying-qing

(Department of Electronic Engineering, PLA Armoring Engineering Insititute, Beijing 100072)

Abstract In the conventional hierarchical template matching, there exists a typical problem of sophisticated calculation and correction. In this paper a new multiresolution template matching algorithm based on wavelet transform has been studied. According to the numerical and experimental comparison, it is showed that the new algorithm has eliminated the background intensity effect to the template matching, and it has the advantage of easy to calculate and parallel process.

Keywords Wavelet transform, Gaussian pyramid, Hierarchical template matching

0 引言

多分辨模板匹配是模式识别中的重要工具. 传统的多分辨模板匹配中的塔式数据结构一般都是基于灰度级空间的,典型的有直接抽样金字塔结构和高斯金字塔结构^[1],在实际应用中,为了计算方便一般采用2中取1的再抽样方式. 其中直接抽样金字塔的构造方法十分简单,只需在原始图象中每隔一个像素保留一个像素,而获得一幅缩小一倍的图象,这样作下去直到所需的层数;而高斯金字塔则是原始图象经过高斯低通滤波并半抽样的结果,拉普拉斯金字塔是从高斯金字塔中计算出来的^[2,3].

在传统的多分辨模板匹配过程中,为了减小背

景对模板匹配的影响,在模板金字塔建立时,一般需对模板金字塔各层的每个像素赋予一个权值或加入减弱背景影响的算法;另外,为了获得每个分辨率层决定匹配最佳位置的阈值,还需进行下面两种类型的修正:其一,为了计算方便,需选择一个大小合适的窗口来装入模板,因此需要根据模板在窗口中所占的比例进行修正;其二,需估计旋转对相关系数的影响,并获得对相关系数的修正因子.

由此可见,传统的基于灰度空间的多分辨模板匹配受多种因素的影响,要得到精确的模板匹配结果,需经过一个较为复杂的计算和修正过程. 本文引入的基于小波变换的多分辨模板匹配算法,有效地克服了背景因素对模板匹配的影响.

1 基于小波变换的多分辨模板匹配算法

1.1 图象小波金字塔及小波多分辨模板的构造

图象小波金字塔的构造, 即对图象进行小波多分辨分解^[2,4].

对于小波多分辨模板的构造, 须考虑以下几个问题:

(1) 窗口大小问题, 为了计算小波变换的方便, 这里取正方形窗口的边长为 2^n 个象素, 并大于或等于模板中心到其轮廓的最长距离的两倍, 且窗口中

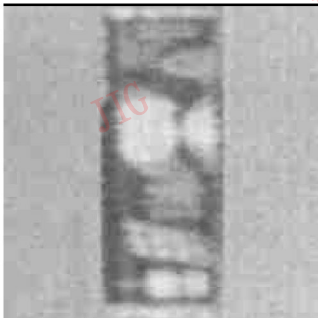


图1 目标模板及其匹配窗口(64×64)



图2 目标的多分辨模板

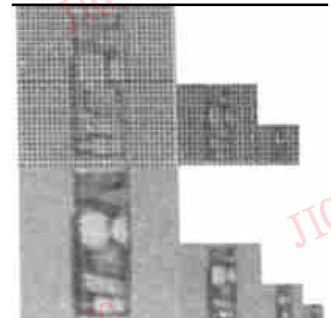


图3 高斯以及拉普拉斯多分辨模板

1.2 小波多分辨模板匹配计算

图象和模板都使用三层小波变换, 首先在小波变换域的低分辨率层进行模板匹配, 然后用 $M_{(m,n)}^t$ 度量在小波变换域 t 分辨率层 (m,n) 位置的相关程度

$$M_{(m,n)}^t = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l (D_{src,(m+i,n+j)}^{1,t} \times D_{tmp,(m+i,n+j)}^{1,t} + D_{src,(m+i,n+j)}^{2,t} \times D_{tmp,(m+i,n+j)}^{2,t} + D_{src,(m+i,n+j)}^{3,t} \times D_{tmp,(m+i,n+j)}^{3,t}) \quad (1)$$

式中, $D_{src,(m+i,n+i)}^{1,t}$, $D_{src,(m+i,n+i)}^{2,t}$, $D_{src,(m+i,n+i)}^{3,t}$ 分别表示原始图象小波变换 t 分辨率层 $(m+i,n+j)$ 位置的 3 个方向的小波变换系数; 而 $D_{tmp,(i,j)}^{1,t}$, $D_{tmp,(i,j)}^{2,t}$, $D_{tmp,(i,j)}^{3,t}$ 分别表示模板小波变换 t 分辨率层 (i,j) 位置的 3 个方向的小波变换系数; l 表示小波多分辨模板在 t 分辨率层的大小.

判断某位置是否是可能位置(可能位置是指当相关系数满足某种阈值条件时, 被搜索区域的位置)的一个传统方法是, 首先需经过较为复杂的计算, 估计出判断是否是可能位置的阈值, 且阈值在各分辨率层各不相同, 还需根据目标在窗口中所占的比例以及旋转等因素进行修正. 本文使用了一种新的方法, 即预先假设最多有 n 个可能位置, 来进行目标搜索. 在低分辨率层获得 n 个可能位置之后, 再在较高分辨率层进行精选, 直到最高分辨率层, 以获得目标的精确定

心与模板中心重合, 这样既能保证窗口旋转时不丢失数据, 又能使模板在窗口中所占的比例最大化.

(2) 窗口中的背景选用图象的平均灰度.

(3) 采用在匹配过程中计算模板的任意角度的版本方式.

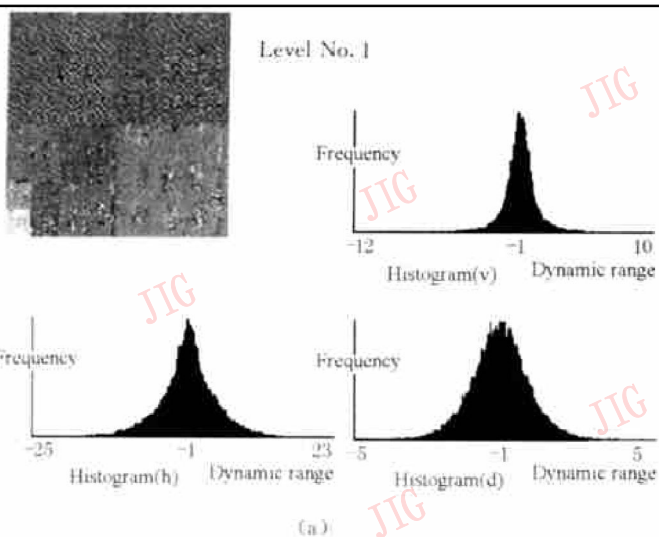
由此, 可获得关于目标“椰子汁”易拉罐的模板(如图1所示). 图2给出了该目标一个方向的小波多分辨模板, 大小为 64×64 , 在后面实验中, 原始图象大小为 256×256 . 对应的图3为高斯以及拉普拉斯多分辨模板.

置. 所谓精选就是根据在这些可能位置的相关系数, 以及它们之间的相互距离和在该区域出现可能位置的概率, 来消除可疑目标, 从而进一步确定正确的可能位置. 在不影响比较和说明问题的情况下, 这里选取一个方向的匹配结果来进行比较讨论.

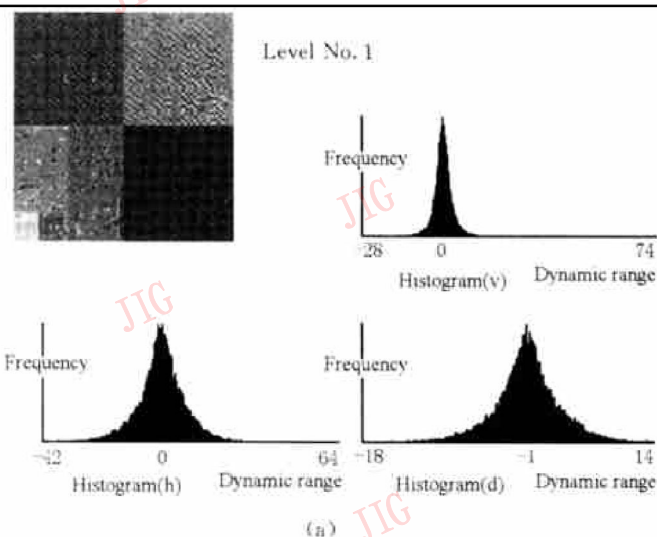
2 统计分析比较

为了分析基于小波金字塔的模板匹配算法克服背景影响的内在因素, 并直观地反映小波变换各层系数的特点, 因而对各层系数进行了直方图分析, 图4为样条小波金字塔各层三个通道的小波变换系数的直方图统计, 图5是 Daubechies 小波($N=4$)金字塔各层小波变换系数的直方图统计, N 为镜像共轭滤波器的长度参数; 在图4和图5中, 右上方是垂直方向细节(如垂直方向边缘)图象的直方图, 右下方是对角方向细节图象的直方图, 左边的是水平方向细节图象的直方图.

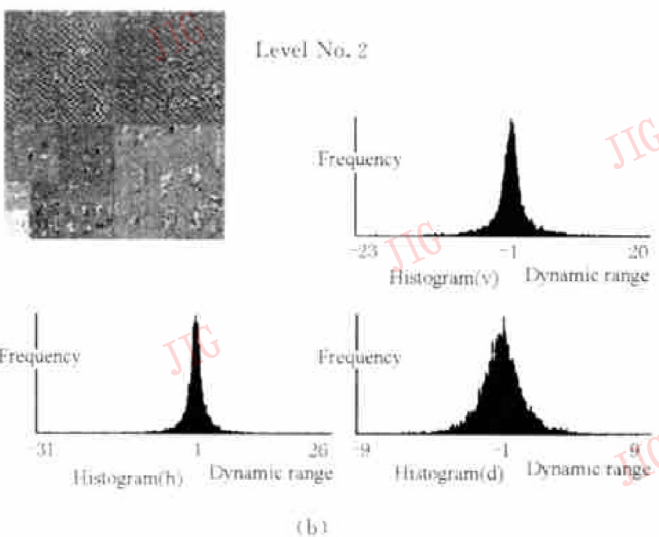
高斯金字塔各层是原始图象在一组二进分辨率层的逼近, 因此它们的直方图必然与原始图象的直方图形状相似, 其象素的灰度值分布在 $0 \sim 255$, 且各层系数含有大量的背景信息. 而从样条小波金字塔和 Daubechies 小波金字塔各层小波变换系数直方图统计中, 可以明显看到: 大部分小波变换系数的



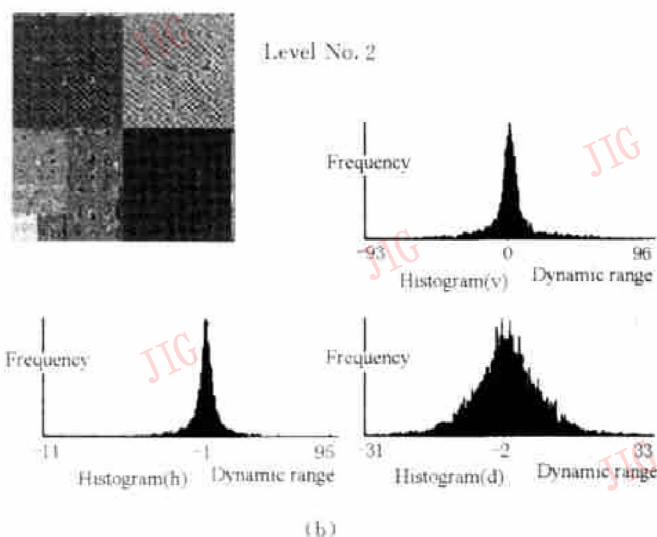
(a)



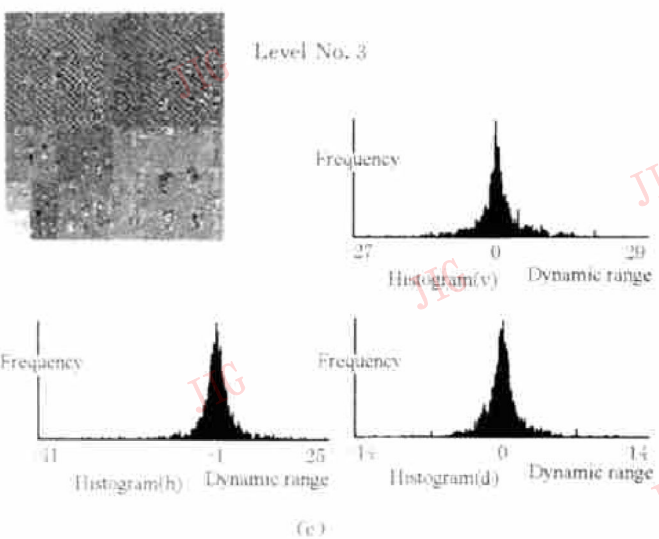
(a)



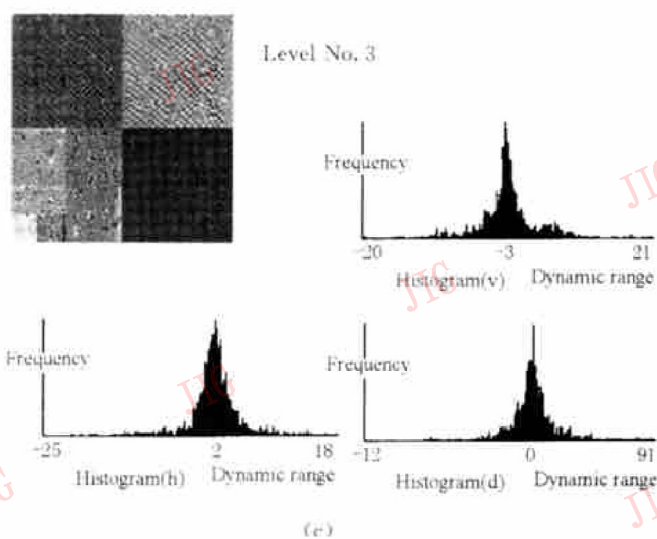
(b)



(b)



(c)



(c)

图 4 (a), (b), (c) 分别为 4 阶 B 样条小波金字塔第 1, 2, 3 层小波变换系数直方图统计

图 5 (a), (b), (c) 分别为 Daubechies 小波(N = 4) 金字塔第 1, 2, 3 层小波变换系数直方图统计

值都接近于零, 只有极少的系数具有相对较大的幅值, 并且这些系数代表原始图象中的明显特征, 如边缘. 小波变换系数这种特有的聚零性和稀疏性, 极有

利于模板匹配, 因为这些使得基于小波变换的多分辨率模板匹配成为一种像素级特征的模板匹配, 使得匹配过程趋于理想情况, 即相当于二值图象之间的

相关过程. 可见, 基于小波变换域的多分辨模板匹配是从其最根本的数据表征上来排除背景因素的, 从而有效地解决了背景对匹配的影响问题.

对于直接抽样金字塔, 由于图象的总体能量在各层的分布与高斯金字塔相当, 具有与高斯金字塔相同的模板匹配特性, 因此在后面的分析与实验中, 仅考虑小波金字塔与高斯金字塔的比较.

3 实验及验证

以下实验对小波金字塔与高斯金字塔在模板匹配中的性能进行了比较.

本文采用一种新的直观的性能比较方法, 即扩大预计搜索的可能位置的数目, 观察搜索到的可能位置相对于实际正确位置的散布情况.

对于小波金字塔模板匹配, 在这里选取 Daubechies 小波基 $N = 2$, 并首先在最低分辨率进行模板相关匹配.

实验中, 第一次预计搜索 20 个可能位置, 这已远远超过了场景中指定目标的数目(仅为 2), 实际搜索到 18 个可能位置(阈值为 263.83, 即当相关系数大于该阈值时, 即为可能位置), 18 个可能位置全部集中在两个正确位置周围, 位置的微小变化主要是在垂直方向, 即目标两条最主要的边缘(垂直方向的两条外轮廓)方向(如图 6 所示). 第二次预计搜索 34 个可能位置, 实际得到 33 个(如图 7 所示), 这些可能位置还是集中在两个正确位置周围, 只有一个偏出(它被匹配在目标几何形状相同, 但表面纹理不同的另一种易拉罐位置), 这时判断可能位置的阈值是 227.85.

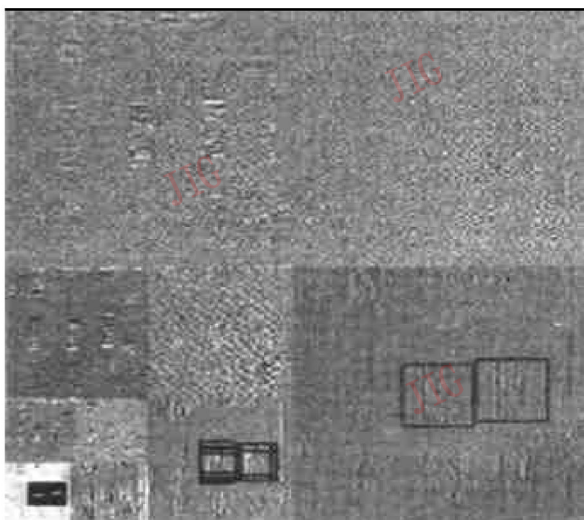


图 6 预计搜索 20 个可能位置的基于小波变换域多分辨模板匹配情况

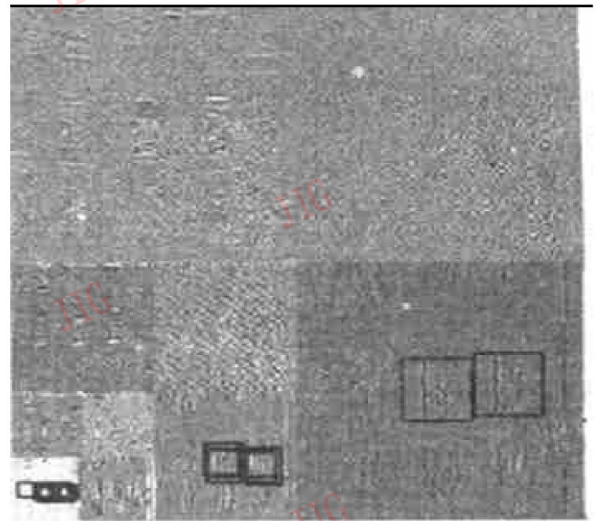


图 7 预计搜索 34 个可能位置的基于小波变换域多分辨模板匹配情况

从以上的 20 和 34 个预计位置的模板匹配实验中, 可以看到: ① 在无须对有关背景因素进行修正的情况下, 基于小波变换域的模板匹配具有良好的准确性, 即在一般的预计可能位置数目的情况下, 仅在最低分辨率层就能获得 100% 的准确率, 即使在较大的预计可能位置数目的情况下, 还是能够通过较高分辨率层的精选过程, 容易地获得 100% 的准确率; ② 这是一种基于像素级特征的匹配, 边缘特征的能量越大, 它对模板匹配起的作用也越大.

下面介绍高斯多分辨模板与高斯金字塔的模板匹配的比较实验结果. 图 3 中的低通部分构成目标的高斯多分辨模板. 图 8 的低通部分构成原始图象的高斯金字塔匹配模板.

由于这是灰度空间的模板匹配, 故尝试采用模板与搜索区域的差来度量它们之间的匹配程度(如



图 8 不考虑背景因素, 高斯金字塔用于模板匹配

式(2)).

$$Diff_{i,j}^t = \sum_{m=0}^{l-1} \sum_{n=0}^{l-1} |f^t(i-m, j-n) - w^t(m, n)| \quad (2)$$

式中 $Diff_{i,j}^t$ 表示位置 (i, j) 的匹配度量, 其值越小, 说明匹配程度越好, t 表示金字塔的第 t 层 ($t=1, 2, 3$); l 表示多分辨模板第 t 层的大小; $f^t(i, j)$ 和 $w^t(m, n)$ 分别表示图象高斯金字塔和多分辨模板第 t 层的数据.

在高斯金字塔低分辨率层, 假设预计搜索 7 个可能位置, 实得 7 个, 这时判断可能位置的阈值是 570, 即如果 $Diff_{i,j}^t$ 小于这个阈值, 则为可能位置(如图 8 所示), 但 7 个可能位置相对于正确位置的散布较大, 并且有了较多的错误位置, 可见高斯金字塔的模板匹配质量严重的受到了背景因素的影响. 为了提高匹配质量, 必须: ① 进行背景因素的修正; ② 不使用简单的模板与搜索区域的差来度量它们之间的匹配, 而使用一种如下式所示的较为复杂的匹配度计算方法:

$$r_{i,j}^t = \frac{2 \sum_{m=0}^{l-1} \sum_{n=0}^{l-1} (f^t(i-m, j-n) - \alpha^t)(w^t(m, n) - \beta^t)}{\sum_{m=0}^{l-1} \sum_{n=0}^{l-1} [(f^t(i-m, j-n) - \alpha^t)^2 + (w^t(m, n) - \beta^t)^2]} \quad (3)$$

式中, $r_{i,j}^t$ 表示相关系数, α^t 和 β^t 分别表示图象高斯金字塔和多分辨模板第 t 层的平均值. 然后按引言中说明的灰度空间的多分辨模板匹配的一般规律, 进行复杂的计算和修正. 实验结果如图 9 所示, 实验中, 在最低分辨率层取匹配度阈值 r^3 为 0.5, 获得 100% 的匹配准确度, 由此可见, 虽然使用高斯金

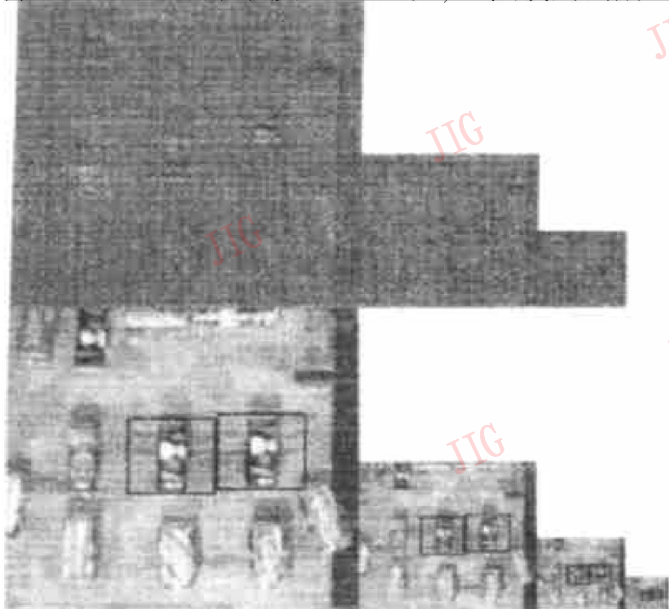


图 9 经过背景因素修正后, 高斯金字塔用于模板匹配情况

字塔也能得到准确的模板匹配结果, 但是, 第一, 计算和修正较为复杂, 第二, 相对于小波金字塔, 其数据量大, 因为小波金字塔像素数与原始图象相等.

总之, 通过以上小波金字塔和高斯金字塔的模板匹配的性能比较和分析, 可以清楚地看到, 基于小波变换域的多分辨模板匹配具有较大的优越性.

4 总 结

本文从统计分析和比较实验两个方面说明了基于小波变换域的多分辨模板匹配相对于传统算法, 不仅计算简明, 而且算法准确性明显优越, 即: ① 在计算上, 克服了传统算法在计算和补偿上的复杂性, 且具有数据表征的优越性, 使得基于小波变换的算法更加便于并行处理, 而有利于实时化; ② 在算法准确性和有效性上, 小波金字塔的多分辨模板匹配有效地解决了模板匹配中的一个基本问题, 即背景因素对模板匹配的影响问题, 并取得了令人满意模板匹配准确度. 另外, 论文在解决匹配的阈值问题方面提出了一些新的方法, 并对匹配性能进行了实验对比分析.

参 考 文 献

- 1 蒋晓瑜. 基于小波变换和伪彩色方法的多重图象融合算法研究 [博士学位论文]. 北京: 北京理工大学, 1997.
- 2 Burt P J, Adelson E H. The laplacian pyramid as a compact image code. IEEE Transactions on Communication, 1983, Com-31 (4): 532~ 540.
- 3 卡斯尔曼 (Castleman K R). 数字图象处理 (英文, 影印版). 北京: 清华大学出版社, 1998.
- 4 崔锦泰. 小波分析导论. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.



蒋晓瑜 1967 年生, 1993 年硕士毕业于装甲兵工程学院光电检测专业; 1997 年博士毕业于北京理工大学, 从事多传感器图象融合, 小波变换应用研究; 现于中科院遥感所博士后流动站从事医学影像, 高速图象处理、DSP 应用及并行处理研究.



黄应清 1966 年生, 1997 年硕士毕业于装甲兵工程学院军用光学专业, 现为装甲兵工程学院电子工程系讲师. 从事小波变换应用, 图象处理科研教学工作.