

基于联合子波变换的目标轮廓抽取技术*

李 骏 张阅春 胡家升

(大连理工大学物理系, 大连 116023)

凌 伟

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘 要 子波变换是目标特征抽取的有效方法。本文把联合变换相关技术(JTC)与子波变换(WT)结合起来,建立了一套新的子波变换光学实验系统。推导了联合子波变换的基本理论,并给出了联合子波变换相关器在目标特征抽取应用中的实验结果。

关键词 联合子波变换, 联合变换相关, 子波变换, 特征抽取。

1 引 言

光学相关识别系统可以分为两种基本类型:一类是基于频率域滤波的相关器,如 Vander-Lugt 相关器(VLC),另一类是基于空间域处理的联合变换相关器(JTC)^[1~3]。在联合变换相关器中,不必预先制作匹配空间滤波器,也不存在精确复位调整问题,而且结构灵活,易于实现相关运算,加之联合变换相关器对输入图像的要求不象 VLC 对匹配空间滤波器的质量要求那么高,可以采用价格便宜的液晶光阀(LCLV)、液晶电视(LCTV)等作为实时器件,适合于实际中对实时处理的要求。近几年来,空间光调制器和 CCD 器件的迅速发展为联合变换相关器的技术的发展提供了有利条件,使联合变换相关器所要求的实时图像转换、实时功率谱记录和实时相关信号探测成为可能。

子波变换是一个十分重要的信号分析工具。传统的信号处理技术大多是基于线性系统和傅里叶变换的概念和理论上的,这些经典的方法有着许多重要的应用,但是对信号的处理还存在着很大的局限性,比如在对地震波信号等这些依赖于时间的频率短信号进行描述和分析时,必须同时在时间域和频率处理,才能保证信息不致丢失。以往的变换机制都难以做到这一点,子波变换正是解决这类问题的一个有效的工具。应该说,子波变换是从傅里叶变换发展和演变而来的,其特殊之处在于称为子波的积分核。在这里,其基底函数不再象傅里叶变换那样局限于指数函数和三角函数,在波形上具有更宽的选择。子波函数的局域特性使得子波变换成为目标特征抽取的一个特别有效的方法^[4, 5]。

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期:1994年10月30日;收到修改稿日期:1995年3月27日

2 理论依据

2.1 子波变换的基本原理

如果函数 $h(x, y)$ 满足子波变换所要求的局域条件, 并具有某种程度上的正则性^[6], 那么两维图像 $s(x, y)$ 在基底 $h(x, y)$ 下的子波变换式为:

$$\begin{aligned} Ws(a, x'y') &= \text{WT} [s(x, y)] = \langle s(x, y), h_s(x - x', y - y') \rangle \\ &= \iint s(x, y) h_a^*(x - x', y - y') dx dy \end{aligned} \quad (1)$$

这里 \langle, \rangle 代表两个函数的内积, $*$ 代表复共轭,

$$h_a(x - x', y - y') = \frac{1}{(a_x a_y)^{1/2}} h \left(\frac{x - x'}{a_x}, \frac{y - y'}{a_y} \right)$$

是 $h(x, y)$ 执行扩和位移操作后的版本。

对(1)式作变量代换:

$$(x - x')/a_x = \zeta, \quad (y - y')/a_y = \eta,$$

$$\text{那么, } x = a_x \zeta + x', \quad y = a_y \eta + y', \quad dx = a_x d\zeta, \quad dy = a_y d\eta,$$

于是有:

$$\begin{aligned} Ws(a, x', y') &= (a_x a_y)^{1/2} \iint s(a_x \zeta + x', a_y \eta + y') h^*(\zeta, \eta) d\zeta d\eta \\ &= (a_x a_y)^{1/2} s_a(x', y') \star h^*(x', y') \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $s_a(x, y) = s(a_x x, a_y y)$ 是 $s(x, y)$ 被扩后的版本, \star 代表两个函数的相关。(2)式意味着: 函数的子波变换实际上就是其被扩版本与子波母函数的互相关。这就是采用相关结构实现子波变换的原理依据。

2.2 联合子波变换的基本原理

联合子波变换是一个两步过程, 第一步是联合功率谱的记录过程。第二步是相关信号的再现过程。如图 1 所示, 设被扩后的物函数为 $s_a(x, y)$, 定位于 (a, b) , 子波函数为 $h(x, y)$, 定位于 $(0, -b)$, 这样总的输入可表示为:

$$g(x, y) = s_a(x, y - b) + h(x, y + b). \quad (3)$$

经准直相干光照明, 在透镜的后焦面上得到 $g(x, y)$ 的频谱为:

$$\begin{aligned} G(u, v) &= F[s_a(x, y - b) + h(x, y + b)] \\ &= S_a(u, v) \exp(-i2\pi vb) + H(u, v) \exp(i2\pi vb) \end{aligned}$$

其中, $u = x_1/\lambda f$, $v = y_1/\lambda f$, (x_1, y_1) 为谱面坐标, f 为透镜焦距, λ 为照明光束波长。用平方探测器在谱面上记录到的强度分布(联合功率谱 JTH)为:

$$\begin{aligned} I(u, v) &= G(u, v)G^*(u, v) \\ &= (|S_a(u, v)|^2 + |H(u, v)|^2) + S_a(u, v)H^*(u, v) \exp(-i4\pi vb) \\ &\quad + S_a^*(u, v)H(u, v) \exp(i4\pi vb) \end{aligned} \quad (4)$$

用准直相干光照明联合功率谱, 经傅里叶变换透镜 FTL₂ 后得到输出面上的光场分布^[4]:

$$I(x_2, y_2) = \text{FT}^{-1}[I(u, v)]$$

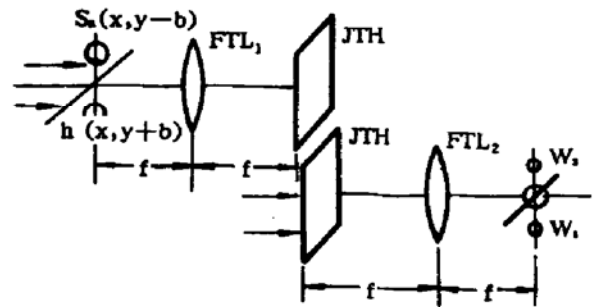


Fig. 1 The principle diagram of joint wavelet transform correlator

$$\begin{aligned}
&= |E_0|^2 \delta(x_2, y_2) + [s_a(x_2, y_2) \star h(x_2, y_2)] \delta(x_2, y_2 - 2b) \\
&\quad + [h(x_2, y_2) \star s_a(x_2, y_2)] \delta(x_2, y_2 + 2b) \\
&= |E_0|^2 \delta(x_2, y_2) + W_s(a, x_2, y_2) \delta(x_2, y_2 - 2b) + W_s(a, -x_2, -y_2) \delta(x_2, y_2 + 2b) \quad (5)
\end{aligned}$$

其中第一项是直射光，定位于输出面中心。第二项、第三项是 $s(x, y)$ 的子波变换系数，这正是探测的信号。

3 基于联合子波变换结构的目标边缘特征抽取

目标特征抽取是实现光学模式识别的最基本条件，对于大多数应用来说，边缘是图像最有意义的特征，子波变换的局域性为它在目标边缘增强中的应用提供了依据。如上所述，图像的子波变换就是图像与子波函数之间的互相关，如果子波波形和参数选择合适实质上就是其边缘增强图形，因而光学子波变换是目标轮廓抽取的有效工具。实现子波变换的方法很多，不过目前基本上都是采用频率域滤波结构。这种方法至少存在两方面的缺陷：1) 光学匹配相关结构中的滤波器精确定位问题依然存在；2) 为了得到不同扩因子下的子波变换系数，需要制作一组子波滤波器(WF)，无论是采用光学方法还是计算全息的方法都是一件很麻烦的事情，而且实时性也不够，为此作者提出了一种实时的光学实现子波变换结构。

如图 2 所示， f_1 、 f_2 组成一变焦成像系统，以改变输入图像的尺寸，等价地得到不同的扩

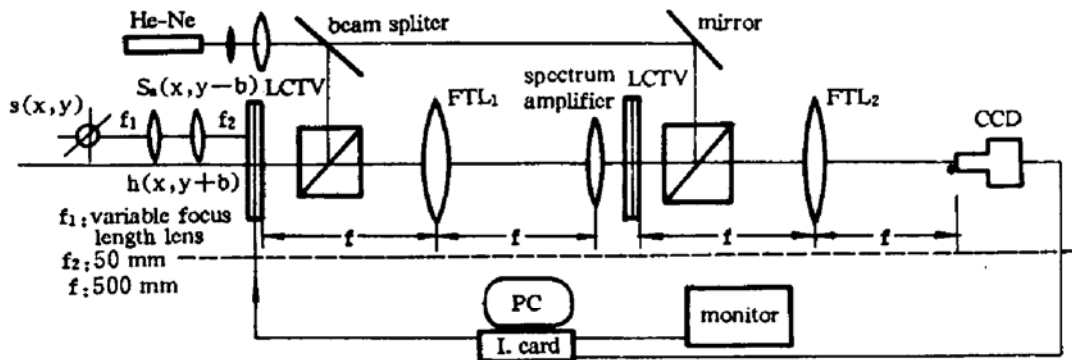


Fig. 2 Experimental system of a realtime joint wavelet transform correlator

因子 a 。子波函数 $h(x, y)$ 由计算机产生并由液晶电视(LCTV)显示，这样在 FTL_1 的后焦面上得到被扩目标图像与子波函数的联合变换频谱。谱放大器作用是将谱放大后写入液晶光阀，以适应其分辨率要求。再经过 FTL_2 的傅里叶变换作用后，在输出面上得到输入图像的子波变换(即其边缘增强图形)，并通过显示器显示出来。

为了验证系统的有效性，本文采用飞机模型进行了原理性实验，图 3 是实验结果。实验

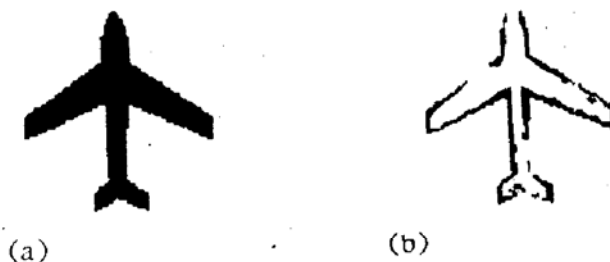


Fig. 3 The experimental result of plane model using joint wavelet transform correlator

(a) original image, (b) edge enhanced image

中所采用的子波函数为：

$$h(x, y) = (x^2 + y^2 - 2) \exp [-(x^2 + y^2)/2],$$

通过调节变焦成像系统, 得到合适的等价扩因子为 $a = 3.74$ 。

结束语 把联合变换相关技术与子波变换结合起来, 建立了一套实时的目标轮廓抽取系统, 通过采用实时器件(如 LCTV, CCD 等), 系统可以满足实时处理的要求。实验验证了以上结构在目标边缘特征抽取中的有效性(子波函数的正确选取和编码输入、参数的确定等作者在文献[4]里有详细描述, 这里不再给出)。实验中, 采用了一个变焦成像系统, 通过对输入图像的变比例成像解决了对子波函数本身进行扩操作的困难, 同时由于采用了联合变换结构, 本系统不再存在滤波器精确定位问题。合适的扩因子可以通过连续改变成像系统的放大率获得。当然对于图像处理应用来说, 特征抽取还只能算是预处理工作, 在另外的文章中将给出联合子波变换结构在多目标识别中的理论和实验研究结果。

参 考 文 献

- [1] C. S. Weaver, J. W. Goodman, A technique for optically convolving two function. *Appl. Opt.*, 1966, 5 : 1248~1249
- [2] Jun Li, Yurong Wang, Jiasheng Hu, Experimental research of real-time Joint Transform Correlator (JTC). *Opt. Engng.*, 1994, 10 : 3302~3306
- [3] B. Javivi, Q. Tang, D. A. Gregory *et al.*, Experiments on nonlinear joint transform correlators using an optically addressed SLM on the Fourier plane. *Appl. Opt.*, 1991, 30 : 1772~1776
- [4] 李 骏, 子波变换及其光学实现方法研究. 博士论文, 中国科学院长春光机所
- [5] Harold Szu, Y. Sheng, J. Chen, Wavelet transform as a bank of the matched filters. *Appl. Opt.*, 1992, 31(17) : 3267~3277
- [6] Danny Roberge, Y. Sheng, Optical composite wavelet-matched filters. *Opt. Engng.*, 1994, 33(7) : 2290~2295

Image Edge Extraction Technique Based on the Joint Wavelet Transform (JWT)

Li Jun Zhang Yuechun Hu Jiasheng

(Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Ling Wei

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Changchun 130022)

(Received 30 October 1994; revised 27 March 1995)

Abstract Wavelet transform (WT) is efficient for image features extraction. We built a new system for optically implementing wavelet transform by introducing the technique of joint transform correlation. We derived the basic theory of joint wavelet transform (JWT), and described our experimental results of image features extraction using joint wavelet transform correlator.

Key words joint wavelet transform, joint transform correlation, wavelet transform, feature extraction.