

基于联合子波变换结构的实时 目标识别研究*

李 骏 张阅春 胡家升

(大连理工大学物理系, 大连 116023)

提要 把联合变换相关技术与子波变换结合起来,建立了一套用于目标识别的实验系统。该系统巧妙地集图象预处理与相关过程于一体,同时具有优良的性能,如抗噪声能力强、相关峰尖锐、不存在旁瓣效应等。

关键词 联合子波变换相关器,子波变换,目标识别

1 引 言

联合变换相关器(JTC)最近几年发展很快,出现了不少可行的算法和结构^[1~3]。与传统的基于频率域滤波处理的相关器不同,在JTC中目标图象和参考图象同时从物面输入,因而不需要预先制作匹配滤波器,也不存在滤波器精确定位问题,同时可以采用价格便宜的液晶电视(LCTV)或液晶光阀(LCLV)作为实时输入和谱记录器件,在处理上具有高度的灵活性,满足实际中对实时处理的要求。

子波变换(WT)是图象处理和分析中的一个有效工具,在诸如音乐信号、心电信号、地震波信号分析、数据压缩、多分辨率图象处理与重建等方面已证明具有现实的应用潜力^[4,5]。本文将从子波变换的另一个重要的应用——模式识别应用出发,把联合变换相关技术与子波变换结合起来,建立一套用于目标识别的联合子波变换实验系统。目标识别通常是一个两步过程,第一步是目标特征抽取及背景噪声扣除过程。第二步是相关识别过程。联合子波变换结构巧妙地在单步结构里实现了上述过程。一般说来,与背景相比目标的灰度在边缘上是突变的,这样我们可以选择合适的子波函数,通过子波变换来抽取目标的边缘特征,除去背景噪声的影响,获得目标的边缘增强图形,以实现图象的预处理,然后通过图象边缘增强图形之间的互相关来实现相关识别,这就是联合子波变换结构的基本思想。本文系统地描述了联合子波变换相关结构的基本理论,并对飞机模型进行了实验研究。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994年10月31日; 收到修改稿日期: 1995年3月24日

2 联合子波变换相关器的理论依据

2.1 子波变换的基本原理

如果函数 $h(x, y)$ 满足子波变换的许可条件(振荡型双极函数, 且具有某种程度的正则性), 那么函数 $s(x, y)$ 在基底 $h(x, y)$ 下的子波变换式为

$$W_s(a, x', y') = \langle s(x, y), h_s(x - x', y - y') \rangle = \iint s(x, y) h_s^*(x - x', y - y') dx dy \quad (1)$$

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

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

是子波函数 $h(x, y)$, 执行扩操作和位移操作后的版本, 对(1)式作变量替换, 令 $\zeta = x - x', \eta = y - y'$, 得到

$$W_s(a, x', y') = \frac{1}{(a_x a_y)^{1/2}} \iint s(\zeta + x', \eta + y') h_s^*(\zeta, \eta) d\zeta d\eta = \frac{1}{(a_x a_y)^{1/2}} s(x', y') \star h_s^*(x', y') \quad (2)$$

对(2)式两边作傅里叶变换得

$$W_s(a, u, v) = F[W_s(a, x', y')] = S(u, v) H_s^*(u, v) \quad (3)$$

式中, $S(u, v) = F[s(x', y')]$, $H_s(u, v) = F[h_s(x', y')]$, (3)式意味着在光学上, 子波变换可以通过频率域滤波的方法来实现, $H_s^*(u, v)$ 是滤波函数。经过滤波后的图象边缘得到了增强, 如果子波函数选择合适, 就可得到其边缘增强图形^[4]。

2.2 联合子波变换相关的基本原理

图 1 是联合子波变换相关结构的原理示意图。 $f(x, y)$ 是目标图象, 定位于 $(0, b)$, $r(x, y)$ 是参考图象, 定位于 $(0, -b)$, 总的输入可以表示为

$$g(x, y) = f(x, y - b) + r(x, y + b) \quad (4)$$

经准直相干光照明, 在透镜的后焦面上得到二者的联合变换频谱

$$G(u, v) = F(u, v) \exp(-i2\pi vb) + R(u, v) \exp(i2\pi vb) \quad (5)$$

其中 $S(u, v) = F[s(x, y)]$, $R(u, v) = F[r(x, y)]$, $u = x_1/(\lambda f)$, $v = y_1/(\lambda f)$, (x_1, y_1) 为谱面坐标, f 为透镜焦距, λ 为照明波波长。在谱面上放置一全息掩模板 $H_s^*(u, v)$, 则透过掩模板的光场为

$$\begin{aligned} G'(u, v) &= [S(u, v) \exp(-i2\pi vb) + R(u, v) \exp(i2\pi vb)] H_s^*(u, v) \\ &\equiv S'(u, v) \exp(-i2\pi vb) + R'(u, v) \exp(i2\pi vb) \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $S'(u, v) = S(u, v) H_s^*(u, v)$, $R'(u, v) = R(u, v) H_s^*(u, v)$, 这样在液晶光阀上记录到的光强分布(联合子波功率谱 JWP)为

$$I(u, v) = |G'(u, v)|^2 = (|S'|^2 + |R'|^2) + S' R'^* \exp(-i4\pi vb) + S'^* R' \exp(i4\pi vb) \quad (7)$$

通过 FTL_2 对上式作逆傅里叶变换, 在输出面上得到

$$\begin{aligned} O(x, y) &= FT^{-1}[I(u, v)] = |E_0|^2 \delta(x, y) + [s'(x, y) \star r'(x, y)] * \delta(x, y - 2b) \\ &\quad + [r'(x, y) \star s'(x, y)] * \delta(x, y + 2b) \end{aligned} \quad (8)$$

其中 $|E_0|^2 = FT^{-1}[|S'(u, v)|^2 + |R'(u, v)|^2]$, 因为

$$s'(x, y) = FT^{-1}[R(u, v) H_s^*(u, v)] = r(x, y) \star h_s(x, y) = W_s(a, x, y)$$

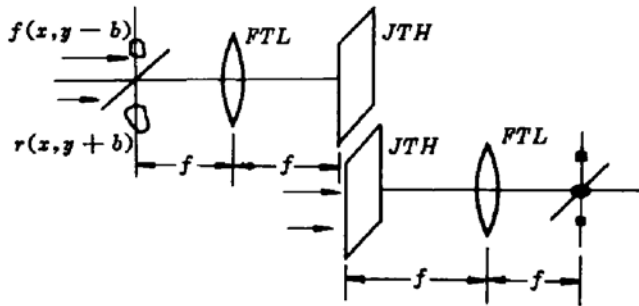


Fig. 1 The principle diagram of a joint transform correlator

$$r'(x,y) = FT^{-1}[R(u,v)H_s^*(u,v)] = r(x,y) \star h_s(x,y) = W_r(a,x,y)$$

于是重写(8)式为

$$O(x,y) = |E_0|^2 \delta(x,y) + [W_s \star W_r] * \delta(x,y - 2b) + [W_r \star W_s] * \delta(x,y + 2b) \quad (9)$$

(9) 式表明,在输出面上($o, \pm 2b$) 处可以得到目标图象的子波变换与参考图象的子波变换系数之间的互相关^[6]。

3 光学实现方案设计和运行方式

图 2 是联合变换相关器和联合子波变换相关器的实验方框图。图 3 是光学实现联合子波变换 (JWT) 的实验装置图,它是单光路、双激光寻址液晶光阀结构。运行方式如下:目标图象由摄像机摄入,参考图象由贮存在计算机里的参考图象库提供,微机完成图象的自动输出,然后由成象透镜写入 LCLV₁,以实现非相干光学到相干光学转换,从而在 FTL₁ 的后焦面上得到二者的联合变换频谱;谱放大器将其放大后与放置在焦面处的掩模板相乘,滤波后的结果写入 LCLV₂。经 FTL₂ 傅里叶变换后,在输出面上得到物图象的子波变换与参考图象的子波变换之间的互相关。相关信号通过帧捕获器输入到计算机系统,完成结果的快速显示和数据的后期加工处理,如相关峰位置显示、相关信号分布(尖峰高度、半角宽、主-旁瓣比)、信噪比、固定背景噪声扣除等。

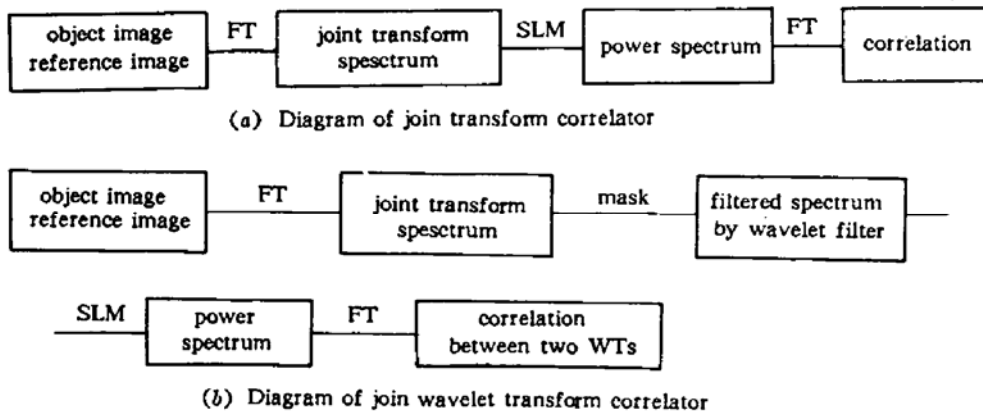


Fig. 2 Diagram of a Join wavelet transform correlator (a) and a joint transform correlator (b)

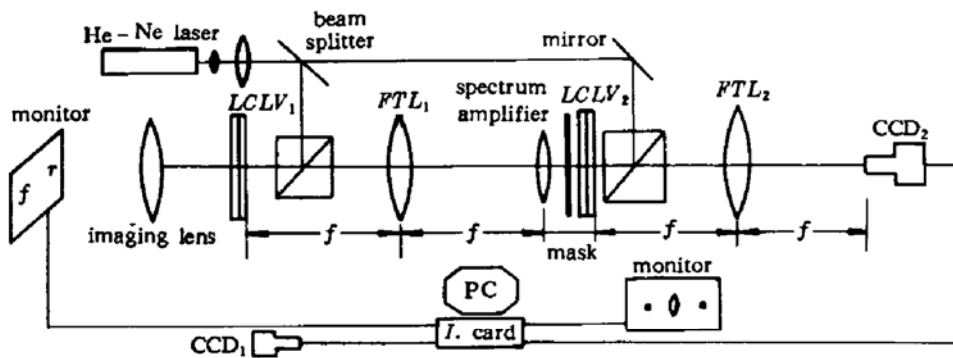


Fig. 3 Experimental system of a realtime joint wavelet transform correlator

图 4 是采用联合子波变换结构对飞机模型的自相关识别结果。实验中所使用的子波函数

为

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cos(2\pi u_0 x) \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cos(2\pi v_0 y) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)$$

其中 $u_0 = v_0 = 20, \sigma = 0.12$ 。其傅里叶变换为

$$H(u, v) = \{\exp[-2\pi^2\sigma^2(u - u_0)^2] + \exp[-2\pi^2\sigma^2(u + u_0)^2]\} \\ \cdot \{\exp[-2\pi^2\sigma^2(v - v_0)^2] + \exp[-2\pi^2\sigma^2(v + v_0)^2]\}$$

这样对应扩因子 $a(a_x = a_y = a)$ 的子波滤波器为

$$H(u, v) = \{\exp[-2\pi^2\sigma^2(au - au_0)^2] + \exp[-2\pi^2\sigma^2(au + au_0)^2]\} \\ \cdot \{\exp[-2\pi^2\sigma^2(av - av_0)^2] + \exp[-2\pi^2\sigma^2(av + av_0)^2]\}$$

图 4(a) 是输入面上的图象, 图 4(b) 是联合子波变换结构 (JWTC) 对飞机模型的自相关结果, 图 4(c) 是传统的联合变换相关结构 (JTC) 对飞机模型的自相关结果。由实验结果可以看出, 比起 JTC 来, JWTC 具有更好的性能, 如相关峰尖锐, 没有旁瓣效应等。

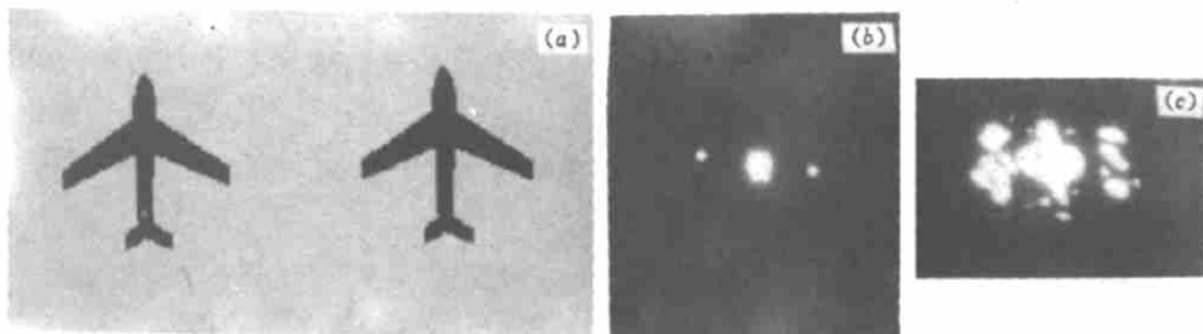


Fig. 4 The recognition result for a plane model using the joint wavelet transform structure

(a) input; (b) output by JWTC; (c) output by JTC

4 分析与讨论

(1) 图象的子波变换包含了有关该图象的大量信息, 因而两个图象子波变换之间的互相关, 同样是两个图象相似性的估计。前面已经指出, 如果子波函数选取合适, 二维图象的子波变换实际上就是其边缘增强图形。这样当目标图象和参考图象的子波变换相同时, 可以得到尖锐的相关峰, 而没有旁瓣。

(2) 系统的识别能力依赖于子波函数和扩因子的正确选择, 而这主要依赖于输入图象的特征。当目标图象和参考图象差别较大时, 如何兼顾好二者而制作出一个合适的子波滤波器显得非常重要。原则上, 我们总可以找到一个具有合适扩因子的最优的子波滤波器。

(3) 通常, 为了得到合适的扩因子, 需要预先制作大量的具有不同扩因子的子波滤波器。虽然这可以通过光学方法或计算机产生全息片 (CGH) 的方法来合成, 但是制作这样的一组全息片也是非常复杂的。有关文献指出, 通过物空间附加一变焦成像系统, 可以把制作不同扩因子的子波滤波器的困难转嫁给改变输入图象的成像比例, 而后者实现起来要容易得多。

5 结束语

基于子波变换的联合变换相关系统比起以往的联合变换相关结构来具有很多好的性能, 如抗噪声能力强, 相关峰尖锐, 不存在旁瓣效应等。该系统巧妙地集图象预处理与相关过程为

一体,由子波变换完成图象的预处理与背景消除,抽取图象的边缘特征,联合变换结构完成图象的相关处理。如果采用实时器件(如液晶电视,CCD 探测器等),系统可以实现实时处理,满足实际中对实时处理的要求。特别是在参考图象中采用综合判别函数(SDF)或参考图象组合技术后,可以实现实时多目标识别和畸变不变目标识别^[6],这方面的工作我们将陆续在有关文章中介绍。

参 考 文 献

- 1 C. S. Weaver, J. W. Goodman. A technique for optically convolving two function. *Appl. Opt.*, 1966, 5: 1248
- 2 Jun Li, Yurong Wang, Jiasheng Hu. Experimental research of real-time Joint Transform Correlator (JTC). *Opt. Eng.*, 1994, (10) (In press)
- 3 B. Javidi, Q. Tang, D. A. Gregory *et al.*. Experiments on nonlinear joint transform correlators using an optically addressed SLM in the Fourier plane. *Appl. Opt.*, 1991, 30:1772
- 4 Harold Szu, Y. Sheng, J. Chen. Wavelet transform as a bank of the matched filters. *Appl. Opt.*, 1992, 31(17): 3267
- 5 Yunlong Sheng, D. Roberge, H. Szu. Optical wavelet transform. *Opt. Eng.*, 1992, 31(9):1840
- 6 Danny Roberge, Y. Sheng. Optical composite wavelet-matched filters. *Opt. Eng.*, 1994, 33(7):2290

Real-time Object Recognition Based on Joint Wavelet Transform Correlation (JWTC)

Li Jun Zhang Yuechun Hu Jiasheng

(Department of Physics, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Abstract A system for real-time object recognition by combining joint transform correlation with wavelet transform is built up. The system can perform preprocessing and correlation in a single step. It has some good features, such as the high capability of anti-background noise, sharp correlation peak, and without sidelobe, etc.

Key words joint wavelet transform correlator, wavelet transform, object recognition