

用功率谱相减的圆谐联合小波变换 相关器作多目标检测

黄晓菁

(集美大学水产学院基础部 厦门 361021)

黄献烈

(厦门大学物理系 厦门 361005)

提要 将小波变换与圆谐联合变换相关器相结合,应用功率谱相减技术进行多目标检测,可以从输出面上直接看出系统对真目标的旋转不变检测及识别假目标的能力。分析和量化了输入景物噪声对结果的影响。计算机模拟实验表明这种方法明显改善了普通圆谐联合变换相关器的性能,具有良好的相关输出性能和抗噪声能力。

关键词 光学图像识别 圆谐联合变换相关器 小波变换 功率谱 多目标检测

Multitarget Detection Using a Circular Harmonic Joint Wavelet Transform Correlator with Power Spectrum Subtraction

Huang Xiaojing

(Dept. of Basic Science, Fisheries College, Jimei Univ., Xiamen 361021)

Huang Xianlie

(Dept. of Phys., Xiamen Univ., Xiamen 361005)

Abstract A method of multitarget detection is presented. It combines circular harmonic joint transform correlator (CHJTC) with wavelet transform, and introduces power spectrum subtraction technique. Using this method we can find out directly the rotation-invariant recognition for the real pattern and the discrimination performance relative to the false pattern. The effect on the result of noise in the input scene is analyzed and quantified. Computer simulation verifies that it can enhance obviously the performance of general CHJTC, and yield a better correlation output and higher capability of anti-background noise.

Key words optical pattern recognition, circular harmonic joint transform correlator, wavelet transform, power spectrum, multitarget detection

圆谐联合变换相关器是将圆谐展开法结合联合变换相关器而设计的^[1],它除了具有联合变换相关器简便易行、结构灵活、满足实时处理需要等优点外,还能对图像进行旋转不变识别,但用作多目标检测时,在输出面上除了存在所要的目标图像与参考图像的互相关峰项外,还存在很强的直流项及各目标图像间的互相关峰项等,给检测带来困难,特别是输入景物带有背

景噪声时,更是如此。功率谱相减是近年来常用于光学领域处理的一种技术^[2],它能大大抑制直流项及不想要的相关峰项,但对于普通圆谐联合变换相关器的缺点,如识别力不高、相关峰较宽、对噪声敏感等仍难于解决。小波变换^[3]是一种新兴的图像处理和分析的数学工具,利用小波变换可以抽取目标图像的边缘特征,降低背景噪声的影响。本文在普通圆谐联合变换相关器和功率谱相减技术的基础上再结合小波变换,使得系统能够对多目标同时进行检测,并具

1998年12月27日收稿

有良好的相关峰锐度、峰噪比、识别力以及抗噪声能力。

理论分析

1. 圆谐联合变换相关器

为了对目标进行旋转不变识别,将标准图像 $t(r, \theta)$ 作圆谐展开

$$t(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} t_m(r) \exp(jm\theta) \quad (1)$$

令 $t_m(r, \theta) = t_m(r) \exp(jm\theta)$, $t_m(r, \theta)$ 为 $t(r, \theta)$ 的第 m 阶圆谐展开分量(CHC)。取第 k 阶 CHC 作为参考函数。由于通常具有一定对称性的图像中,CHC 的实部在相关运算中起主要作用^[4],为简单起见,取其实部 $r_k(r, \theta)$ 来作参考函数。又因 $r_k(r, \theta)$ 存在负值,为了在光学上实现,可在整个输入面上加直流偏置量 DC。输入联合图像用直角坐标表示为

$$\begin{aligned} |F(u, v)|^2 = & \sum_{i=1}^n |T_i(u, v)|^2 + |R_k(u, v)|^2 + |N(u, v)|^2 + C\delta(u, v) \\ & + \sum_{i=1}^n T_i(u, v) R_k^*(u, v) \exp[-ju(a_i + a) - jvb] + C. C. \\ & + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n T_i(u, v) T_l^*(u, v) \exp[-j2u(a_i - a_l) - j2v(b_i - b_l)] + C. C. \\ & + \sum_{i=1}^n T_i(u, v) N^*(u, v) \exp[-ju(a_i - a) - jvb_i] + C. C. \\ & + N(u, v) R_k^*(u, v) \exp(-j2ua) + C. C. \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $i \neq l$, C 为常数, $T_i(u, v)$, $R_k(u, v)$, $N(u, v)$ 分别为 $t_i(x, y)$, $r_k(x, y)$, $n(x, y)$ 的付里叶变换。

(3)式前三项对应输出面上目标图像、参考图像以及噪声各自的自相关。由于自相关宽度大约为图像宽度的两倍^[6],如果景物尺度较大,就有可能严重影响输出结果。而输入景物噪声宽度大约半个输入面,其自相关几乎覆盖整个输出面,使得目标检测性能大大降低。(3)式倒数第六项至倒数第三项对应目标图像间以及目标图像与噪声的互相关,它们会产生虚假的相关峰,造成误判。为了解决以上问题,我们采用功率谱相减的方法。

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n t_i(x - a_i, y - b_i) + n(x - a, y) + r_k(x + a, y) + DC \quad (2)$$

其中 $n(x - a, y)$ 为输入景物的可加噪声。

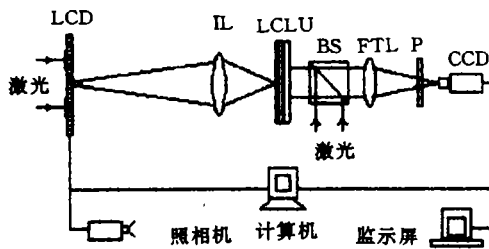


图1 光电混合 JTC 实验系统

联合变换相关器采用如图 1 的光电混合实验系统^[5],可编程的单空间光调制器由液晶显示屏 LCD,成像透镜 IL 和液晶光阀 LCLU 组成。用一相干光读出联合图像,经透镜 FTL 作付里叶变换后用 CCD 列阵记录联合功率谱(JPS)。 $f(x, y)$ 的 JPS 为

2. 功率谱相减

(3)式 $|F(u, v)|^2$ 记录后输入计算机,然后让输入面只显示目标图像(包括噪声及偏置量),其功率谱 $|PT(u, v)|^2$ 由 CCD 记录并存储在计算机中。同样,参考图像(包括偏置量)的功率谱 $|PR(u, v)|^2$ 也输入计算机。将 $|F(u, v)|^2$ 减去 $|PT(u, v)|^2$ 和 $|PR(u, v)|^2$ 可得修正的联合功率谱为

$$\begin{aligned} I(u, v) = & \sum_{i=1}^n T_i(u, v) R_k^*(u, v) \\ & \cdot \exp[-ju(a_i + a) - jvb_i] + C. C. \\ & + N(u, v) R_k^*(u, v) \exp(-j2ua) \\ & + C. C. + C'\delta(u, v) + B \end{aligned} \quad (4)$$

其中 C 为常数, B 是为了保证相减后的值不出现负数而加的偏置常数。

(4) 式的第一、二项是我们所要的, 由于参考图像用标准图像的圆谐展开分量的实部代替, 使得所要的真图像与参考图像的相关峰本身就不尖锐, 峰噪比不高。(4) 式中最后两项不

$$WT_1(a_x, a_y, b_x, b_y) = \frac{1}{(a_x a_y)^{1/2}} \iint t(x, y) h^* \left(\frac{x - b_x}{a_x}, \frac{y - b_y}{a_y} \right) dx dy$$

$$= \iint t(x, y) h_{x,b}^*(x, y) dx dy = t(x, y) \otimes h_{x,b}(x, y) \quad (5)$$

小波函数 $h_{x,b}(x, y)$ 由母小波函数 $h(x, y)$ 执行扩操作和位移操作后产生。其中 a 为扩因子, b 为位移因子。由于光学小波变换的运算是位移不变的, 可令 $b=0$ 。对(5)式作付里叶变换

$$WT_1(a, u, v) = T(u, v) H_x^*(u, v) \quad (6)$$

所以小波变换可通过光学相关系统在频域上对频谱进行滤波来实现, 滤波器的透过率函数为 $H_x^*(u, v)$ 。对于功率谱, 即乘以 $|H_x(u, v)|^2$ 。

将(4)式的联合功率谱 $I(u, v)$ 经小波滤波后再重新输入图 1 光学系统的 LCD 中, 经成像缩小在 LCLV 后再经透镜作付里叶变换, 得相关输出。那么(4)式前两项对应的是目标图像的小波变换和参考图像的小波变换的一对共轭互相关, 这是我们所要的。(4)式第三、四项对应的是目标背景噪声的小波变换和参考图像的小波变换的一对共轭互相关, 这仍会使输出面存在噪声, 但影响已经不大。

计算机模拟实验

为了验证所提出的功率谱相减的圆谐联合小波变换相关器的性能, 采用的联合输入图像如图 2。汽车 1、2、3、4 为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个方向的真目标, 大小为 9×16 像素点, 汽车 5 为假目标, 参考图像取标准图像的第二阶 ($k=2$) 圆谐展开分量的实部。目标图像的信噪比 SNR 定义为信号平均强度与背景噪声平均强度之比。总的输入面大小为 128×128 像素点。小波函数采用改进的 Mexican-hat 圆小波^[1], 小波滤波器的透过率函数为

会影响检测结果, 然而第三、四项在输出面上对噪声和参考图像的一对共轭互相关, 它对检测影响很大。为了改善圆谐联合变换相关器的性能, 我们引用了小波变换这个图像处理工具。

3. 圆谐联合小波变换相关器

函数 $t(x, y)$ 的小波变换可表示为



图 2 输入平面图像

$$H_x(r) = \frac{2.718r^2}{a^2} \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right) \quad (7)$$

$$r \in [0, +\infty)$$

图 3 是 $a=30$, 输入目标图像的信噪比 $SNR=1.5$ 时的相关输出三维图。为了图像清楚, (4) 式中 B 值所产生的 δ 函数项已加以抑制, 可以看出, 汽车 1、2、3、4 对应的相关峰强度基本相同, 且峰较尖锐, 而假汽车 (5) 对应的相关峰则明显较低。我们试验了在 $SNR=1.5$ 这样的背景噪声下未经功率谱相减和小波滤波的情况, 还有经过功率谱相减而未经小波滤波的情况, 以及未经功率谱相减而经小波滤波的情况, 结果都无法识别目标图像。说明我们所提出的方案不仅能够实现同时对不同方向真图像的旋转不变检测, 而且对相似的假图像识别力较强, 对目标的背景噪声有很好的抑制能力。

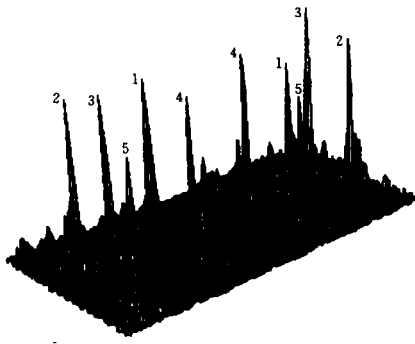


图3 SNR=1.5, a=30 时模拟结果的相关输出三维图

我们还对(7)式中小波滤波函数的因子 a 进行试验,分别测试了对于 a 的不同取值,信噪比 SNR=5.0 和 SNR=1.5 时 0° 真汽车的相关峰强度、识别力、峰噪比以及旋转不变性。相关峰强度 (IAC) 定义为真目标的小波变换与参考图像的小波变换的相关强度的最大值,识别力 (ACR) 定义为 IAC 与假目标的小波变换和参考图像的小波变换的相关峰强度之比,峰噪比 (PNR) 定义为 IAC 与 IAC 峰值点周围(单个图像大小)噪声强度平均值之比。旋转不变性 (ROT) 定义为四个方向的真汽车相关峰强度最小值与最大值之比。结果如图 4(a)、(b)、(c)、(d)。综合考虑,我们取 $a=30$ 。

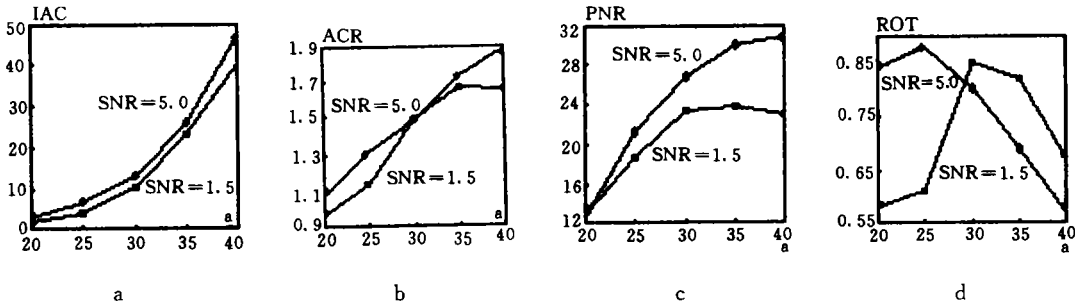


图4 模拟的相关输出性能与扩因子 a 的关系曲线

参考文献

[1] Yu F. T. S., *et al.*, *Appl. Opt.*, 1989, **28**(22), 4725
 [2] 赖虹凯等, *光学学报*, 1997, **17**(9), 1225

[3] 倪明等, *中国激光*, 1997, **A(24)**(3), 231
 [4] Chang S., *et al.*, *Opt. Commun.*, 1996, **127**, 107
 [5] 黄晓菁等, *光学学报*, 1999, **19**(4)
 [6] Sheng Z., *et al.*, *Opt Eng.*, 1997, **36**(10), 2787

(上接第 106 页) 成的多元共晶组织,但由于硬度较低的 Ni 基合金的稀释作用,致使涂层硬度较低,最高硬度为 1193HV_{0.1}。

参考文献

[1] 裴宇韬等, *材料导报*, 1996, **10**(1), 60

[2] 林益平, *国外金属热处理*, 1998, **19**(1), 12
 [3] 刘宁等, *金属学报*, 1992, **28**(8), A333
 [4] 陈传忠等, *中国激光*, 1996, **23**(12), 1121
 [5] 陈传忠等, *应用激光*, 1997, **17**(4), 149