

利用记录介质的非线性实现相关峰的锐化

王植恒 李建荣

(四川大学物理系, 成都 610064)

洪汝桐

(西南技术物理研究所, 成都 610015)

提 要

本文提出一种在光学相关识别中改善相关峰锐度的方法. 在制作匹配滤波器时利用记录介质的非线性突出输入图像的边缘, 从而实现了相关峰的锐化. 文中详述了该方法的实现过程及理论基础, 并给出了光学实验和计算机模拟实验的结果.

关键词 光学识别, 非线性, 相关峰锐度, 匹配滤波器.

1 引 言

1964年 Vander Lugt 提出利用光学匹配滤波技术进行相关识别^[1], 随后出现了各种匹配滤波技术. 60年代, 光学匹配滤波器被广泛应用于从背景中识别一个已知的目标^[2]. 80年代初, Casasent 提出综合鉴别函数的思想^[3]. 使用综合鉴别函数的空间匹配滤波法可以实现畸变目标的识别. 在所有这些光学相关识别技术中, 相关输出即相关峰的高度、信噪比、位置、锐度具有特殊重要的意义. 相关峰的高度表示相关输出的能量, 体现了物体空间相关的程度^[4]. 相关峰的信噪比体现了相关输出的质量, 较大的信噪比是相关识别所必需的. 由相关峰的位置可对目标进行精确定位, 另外由相关峰的位置变化可导出相关物体的比例变化和旋转变化^[5]. 而要精确地确定相关峰的位置, 单有较大的峰值和信噪比是不够的, 还要求相关峰的半宽度很小, 即相关峰很锐. 因此实现相关峰的锐化非常重要. 国内外在提高相关峰信噪比方面作了很多研究. Casasent 提出使用加权滤波器提高相关峰信噪比^[6]. Horner 等人提出的使用纯位相滤波器法对提高信噪比也取得了一定的效果^[7]. 本文提出一种实现相关峰锐化的方法, 即利用记录介质的非线性特性实现相关峰的锐化. 在光学实验和计算机模拟实验中利用这种方法都取得了满意的效果.

2 实验系统与原理

根据光学相关的理论, 记录有物体光波 $o(x, y)$ 的空间频谱 $O(u, v)$ 的傅里叶变换全息图的振幅透射系数为^[8]:

收稿日期: 1993年1月7日

* 国家教委留学回国人员资助费支持项目

$$t_H(u, v) \propto |O(u, v)|^2 + R_0^2 + R_0 O(u, v) \exp(-j2\pi ub) + R_0 O^*(u, v) \exp(j2\pi ub) \quad (1)$$

式中 $R_0 e^{-j2\pi ub}$ 为参考光. 当它被调制的照明光波 $c(x, y)$ 再现时, 原始象项是物光波和照明光波的卷积, 共轭象项就是二者的互相关: $o(x, y) \star c(x + b, y)$, 如果照明光波是物光波则成为自相关, 得到一个相关光斑.

本实验系统如图 1 所示, 由摄像机拍摄的目标图像显示在图像显示器上, 通过透镜成像在液晶光阀(LCLV)上, 激光束经准直后由半反镜反射到 LCLV 上, 其反射图像即为非相干图像通过液晶光阀转换成的相干图像, 通过傅里叶透镜在输入像的频谱面上得到输入像的频谱, 并与由反射镜射出的参考光进行相干, 在有复位装置的全息记录干板上形成干涉条纹. 记录介质感光, 经显影、定影处理后就得到匹配滤波器. 将制成的匹配滤波器置于复位装置上, 关闭参考光, 在图像显示器上输入待识别图像. 同理, 此待识别非相干图像通过透镜成像在液晶光阀上, 经激光调制成相干光, 通过傅里叶透镜后与匹配滤波器上记录的目标图像相关, 再通过透镜进行反傅里叶变换, 摄像机就可以接收到相关信号. 将此信号输入显示器或微机, 这样, 在微机图像系统的显示器上就可以看到相关光斑, 经微机处理可以得到相关光斑对应的相关峰三维显示, 并对相关峰进行分析, 从而实现目标识别和定位.

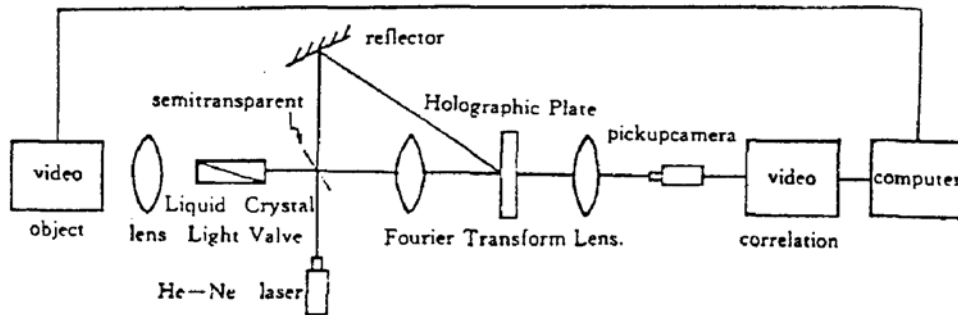


Fig. 1 Optical pattern recognition system with an incoherent-to-coherent image converter

利用上面的装置制作匹配滤波器时, 记录介质记录的是目标图像 $o(x, y)$ 的傅里叶谱 $F(u, v)$ 与参考光的干涉条纹, 如果记录介质具有理想的线性特性, 那么, 记录介质的复振幅透射系数为^[9]:

$$t = t_0 - \beta' [|F(u, v)|^2 + a e^{jk_0 z} F(u, v) + a e^{-jk_0 z} F^*(u, v)] \quad (2)$$

当用目标图像作为输入物体时, 它的傅里叶谱透过记录介质后:

$$F(u, v)t = (t_0 - \beta' |F(u, v)|^2)F(u, v) - \beta' a e^{jk_0 z} F(u, v)F(u, v) - \beta' a e^{-jk_0 z} F^*(u, v)F(u, v) \quad (3)$$

再对上式作反傅里叶变换, 右边第一项是直射的物光, 第二项是卷积项, 第三项是物体的自相关:

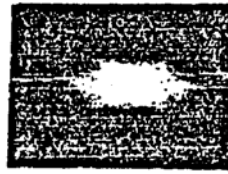
$$o(x, y) \star o(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \{ F^*(u, v)F(u, v) \} \quad (4)$$

这里 \mathcal{F}^{-1} 表示反傅里叶变换. 根据以上自相关原理, 可以在计算机中模拟记录介质在线性记录时的光学自相关过程. 对物体作快速傅里叶变换得到物体的傅里叶频谱, 再对傅里叶频谱的共轭乘积作反傅里叶变换, 得到物体的自相关. 首先对由计算机产生的三角形块(图 2)的自相关进行模拟, 得到的相关信号的功率分布以及对应的三维显示如图 3 所示. 用同样的方法对由摄像机拍摄的类型坦克模型(图 4)的自相关进行模拟, 得到的相关信号功率分布以及对应的三维显示如图 5 所示. 从图 3 和图 5 中可以看出, 相关峰的半宽度都比较大, 峰值分布相对平坦, 这样, 相关阈值的确定比较困难, 大大降低了目标物体识别和定位的精度, 为了克服这一

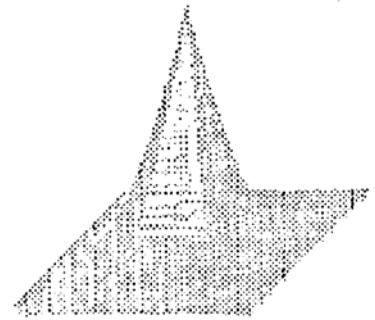
困难必须对相关峰实现锐化.



Fig. 2



(a) photograph



(b) 3-D plot

Fig. 3 Correlation peak



Fig. 4



(a) photograph



(b) 3-D plot

Fig. 5 Correlation peak

3 相关峰锐化原理和实验结果

在计算机模拟实验中发现, 如果先对图像进行边缘提取, 然后再作相关, 那么, 相关峰的锐度得到明显改善. 图 6 是对图 2 所示的三角形块进行边缘提取的结果, 图 6 的自相关结果见图 7, 通过比较图 3 和图 7 不难发现, 边缘提取的确能改善相关峰的锐度. 而在利用上述实验系统制作匹配滤波器时, 发现, 如果合理利用记录介质的非线性特性, 则能很好地突出图像边缘, 达到提高相关峰锐度的效果.

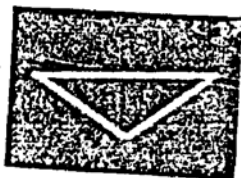
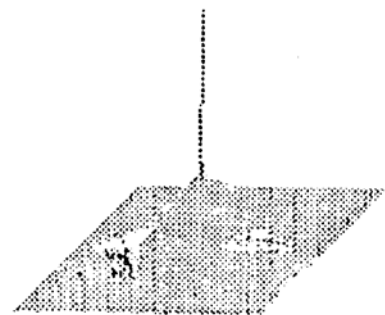


Fig. 6



(a) photograph



(b) 3-D plot

Fig. 7 Correlation peak

物体的功率谱具有一定的分布, 其中能量大部分集中在零频和低频分量, 高频部分的能量较低. 而在空间匹配滤波中, 高频分量起着重要的作用. 因而在频域中适当抑制信号的低频分量, 增强信号的高频分量, 即能在空域中突出物体的边缘, 对改善相关输出将有一定的效果. 从记录介质的感光特性曲线(图 8)上可以看出, 直线部分的两端各有一段非线性区域 AB 和 CD, 当曝光量处于这两个区域时, 记录介质实现非线性记录. 如果调节参考光和物光的总

强度和曝光时间,使得物体功率谱中强度较大的部分(主要是零频和低频分量)的曝光量落在 $t \sim h$ 曲线 CD 区域,那么,记录介质感光、显影、定影后,物光和参考光在这些部分形成的干涉条纹的条纹对比度将很低,有的区域条纹对比度甚至为零.这样制成的匹配滤波器复位后就会阻止目标物体功率谱中强度较大的频谱分量(主要是零频和低频分量)通过,亦即在空域中突出物体的边缘.这相当于对物体的功率谱进行了“截止”滤波.显然这种“截止”滤波与高通截止滤波不一样,前者将物体频谱中强度大于某一阈值的频谱分量截去,是记录介质非线性特性对物体功率谱的影响之真实写照.而这种非线性的“截止”效果用其他光学元件很难实现,经过这样的“截止”匹配滤波器后得到的类坦克模型的自相关信号如图 9 所示.

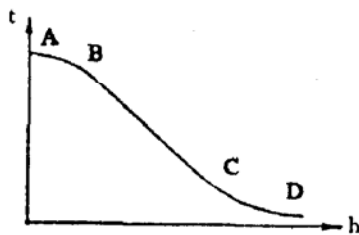


Fig. 8 Curve of medium's nonlinearity

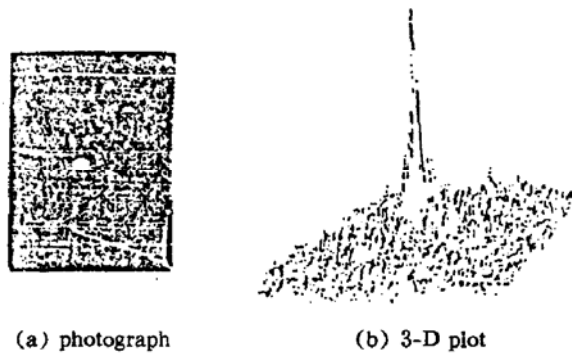


Fig. 9 Correlation peak

在计算机中用非线性函数模拟记录介质的感光特性,用它来对物体的功率谱进行调制:用函数 $T = E^{-\alpha}$, ($\alpha > 0$) (其中 E 为曝光量, T 为振幅透过率) 表示图 8 所示的感光特性曲线,则目标物体经上述非线性函数调制后制成的匹配滤波器振幅透过率为:

$$T = (|F_0(u, v)|^2)^{-\alpha} \tag{5}$$

输入物体的频谱 $F_i(u, v)$ 通过该匹配滤波器后为:

$$F_i(u, v)T = F_i(u, v)(|F_0(u, v)|^2)^{-\alpha} \tag{6}$$

则输入物体经过这样的匹配滤波器后得到的相关信号为:

$$\mathcal{F}^{-1}\{F_i^*(u, v)F_i(u, v)(|F_0(u, v)|^2)^{-\alpha}\}$$

式中 \mathcal{F}^{-1} 表示反傅里叶变换. 如果 $F_i(u, v) = F_0(u, v)$, 则得到自相关信号.

计算机中对类坦克模型进行上述模拟后得到的自相关信号如图 10. 用同样的方法对图 2 所示的三角形块模拟的结果如图 11 所示.

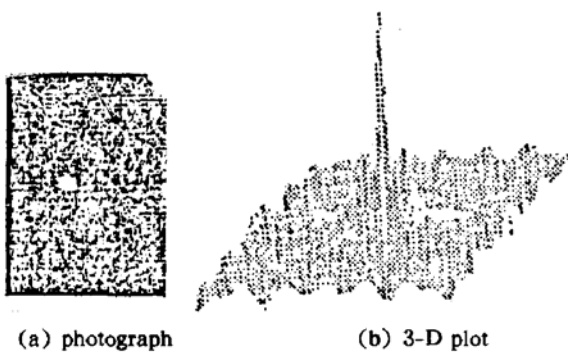


Fig. 10 Correlation peak

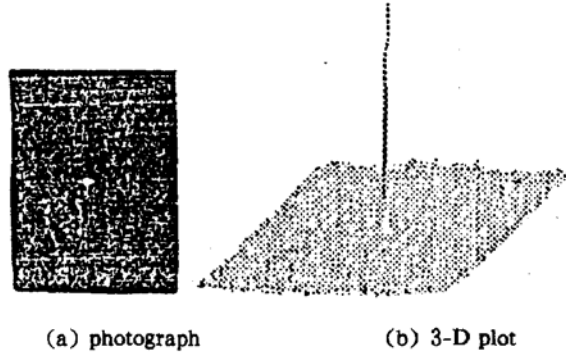


Fig. 11 Correlation peak

通过图 3 与图 7、图 11 的比较,可以发现,记录介质的非线性所实现的“截止”滤波在相关中的作用和对图像作边提取的效果一样,能改善相关峰的锐度.本文在制作相关匹配滤波

器时巧妙地利用了记录介质的非线性特性, 突出了目标物体的边缘, 从而实现了相关峰的锐化, 提高目标物体识别和定位的精度.

4 讨 论

无论是光学实验的结果还是计算机模拟实验的结果都表明: 记录介质的这种非线性特性使相关峰的锐度得到明显改善. 它使得记录介质对物体的傅里叶频谱作选择性记录. 而在物体的功率谱分布中, 能量大部分集中在零频和低频分量, 因而零频和低频分量往往被记录介质选择性地滤掉或削弱. 在相关匹配时主要是高频分量的匹配, 也就是说在空域中突出了物体的边缘. 因此, 适当调节参考光和曝光时间, 合理利用记录介质的非线性特性将有助于改善相关输出实现相关峰的锐化, 提高目标识别和定位的精度.

参 考 文 献

- [1] A. Vander Lugt, Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1964, IT-10(2): 139~145
- [2] H. J. Caulfield, W. T. Maloney, Improved discrimination in optical character recognition. *Appl. Opt.*, 1969, 8(15): 2354
- [3] D. Casasent, Unified synthetic discriminant function computational formulation. *Appl. Opt.*, 1984, 23(10): 1620
- [4] Fritz merkle, Thomas Lorch, Hybrid optical-digital pattern recognition. *Appl. Opt.*, 1984, 23(10): 1509
- [5] D. Casasent, New optical transforms for pattern recognition. *Proc. IEEE.*, 1977, 85(1): 77
- [6] D. Casasent, Frequency-multiplexed and pipelined iterative optical systolic array processors. *Appl. Opt.*, 1983, 22(1): 115
- [7] J. L. Horner, R. Leger, Pattern recognition with binary phase-only filters. *Appl. Opt.*, 1985, 24(5): 609
- [8] 于美文编, 《光学全息及信息处理》, 国防工业出版社, 1984, 6: 61
- [9] M. 弗朗松著, 北京工业学院光学教研室译《光学像的形成和处理》, 北京, 科学出版社, 1979: 101

Correlation peak sharpness by using nonlinearity of recording medium

WANG Zhiheng LI Jianrong

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064)

HONG Rutong

(South-West Institute of Technology Physics, Chengdu 610015)

(Received 7 January 1993)

Abstract

A correlation peak sharpening method in optical pattern recognition is proposed in this paper. The edge enhancement of input images was obtained by using nonlinearity of recording medium, hence the correlation peak was sharpened. The procedure and theoretic basis are presented in detail with both optical experiment and computer simulation results.

Key words optical recognition, nonlinearity, correlation peak sharpness, matched filter.