

实时光电混合联合变换相关器单元的 实验研究*

秦玉文 黄战华 张以谟

(天津大学现代光学仪器研究所, 天津 300072)

摘 要 本文根据联合变换相关(JTC)的原理, 提出了一种实时光电混合联合变换相关器, 它采用一个液晶光阀作为输入器件, 用另一个液晶光阀记录和显示联合功率谱. 所给出的实验结果证实了该系统设计及性能分析的正确性.

关键词 实时联合变换相关, 光学模式识别, 光学自适应, 光电混合相关器.

1 引 言

光学相关由于其光学自适应、目标跟踪、模式识别、机器人视觉等领域的重要应用前景越来越受到人们的高度重视与关注. 早期的研究工作主要集中在利用胶片等手段进行非实时匹配滤波光学相关研究^[1,2], 近年来的一个重要发展方向是进行实时相关研究. 国外由于电寻址空间光调制器的研制成功, 人们已着手利用电寻址空间光调制器具有可编程控制、响应速度快的优点进行实时相关研究, 这一工作可以大致地分为两方面: 一方面是利用电寻址空间光调制器作为接口器件, 利用联合变换(joint transform)实现实时相关^[3,4], 另一方面是利用匹配滤波的方法进行实时相关研究^[5]. 国内由于缺乏电寻址空间光调制器, 仅有少数几家单位开展了实时相关的研究工作. 本文提出利用光电混合联合变换实现实时相关的方案, 把光学和电子学有机地结合起来, 使系统具有优化的性能, 这一方案克服了匹配滤波的某些局限性, 如在匹配滤波方案中, 对于多参考图像或参考图像变化的情况下, 就要制作多个滤波器, 每换一个参考图像就要更换一个滤波器, 而光电混合联合变换相关方法避免了滤波器的制作与精确复位的困难.

2 系统结构与原理

2.1 系统结构

图1为用两个液晶光阀作为接口器件的光电混合联合变换相关器系统. 一束 He-Ne 激光经针孔滤波器后扩束为一束平行光, 由偏振分束镜 BS₂ 将其分成两束, 分别作为空间光调制

* 国家 863 高技术计划基金资助项目

收稿日期: 1993年5月25日; 收到修改稿日期: 1993年9月26日

器 LCLV₁ 和 LCLV₂ 的读出光, 转动针孔滤波器前面的二分之一波片可以改变二读出光的强度之比. 受到液晶光阀分辨率(极限约为 40 lp/mm)的限制, 两个傅里叶变换透镜均采用 $f = 1000 \text{ mm}$ 的长焦距透镜组. 参考图像预先存入计算机内存, 目标图像经由计算机控制从 CCD 摄像机实时采样获得, 并利用计算机进行控制,

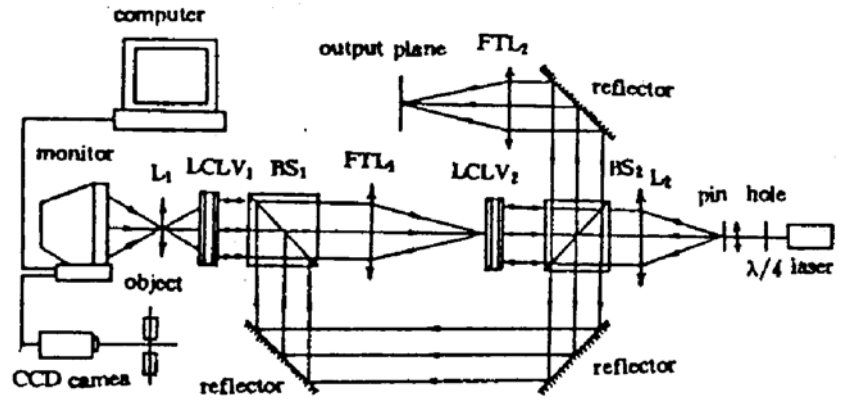


Fig. 1 Diagram of the experimental system of the real-time hybrid joint transform correlator

使参考图像一直显示于监视器的左或上半部分, 而使目标图像显示于监视器的右或下半部分. 成像透镜 L_1 将显示在监视器上的目标与参考图像成像于空间光调制器 LCLV₁ 上, 即把图像写到空间光调制器 LCLV₁ 上, 同时用一束 He-Ne 光去读写到空间光调制器 LCLV₁ 上的图像, 读光束经 LCLV₁ 反射再经偏振分束镜 BS₁ 后给出所需要的输出图像, 用傅里叶变换透镜 FTL₁ 对输出图像进行变换获目标与参考图像的联合变换频谱, 将其记录在第二个空间光调制器 LCLV₂ 上, 同时用另一束 He-Ne 光去读写入到 LCLV₂ 上的联合频谱, 反射光经偏振分束镜 BS₂ 后获得输出, 完成强度分布到振幅分布的转换, 经过傅里叶变换透镜 FTL₂ 变换后在相关谱接收面上给出目标图像与参考图像的相关输出.

2.2 联合变换^[6]相关原理

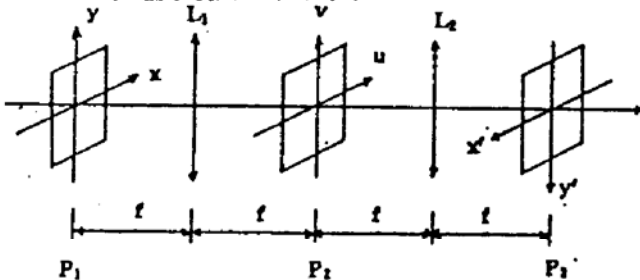


Fig. 2 Schematic representation of an optical joint transform correlator

图 2 为联合变换相关器的工作原理. 设实时输入的目标图像与参考图像可分别表示为函数 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$, 对称地分布在 P_1 平面上, 如图 3(a) 所示, 则输入函数可以写为

$$g(x, y) = f(x + b, y) + h(x - b, y) \quad (1)$$

经傅里叶变换透镜 FTL₁ 变换后得其联合频谱为

$$G(u, v) = F(u, v)\exp(i2\pi bu) + H(u, v)\exp(-i2\pi bu) \quad (2)$$

式中的 $G(u, v)$ 、 $F(u, v)$ 和 $H(u, v)$ 分别为 $g(x, y)$ 、 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ 的傅里叶变换. P_2 平面上的空间光调制器作为平方律器件(square-law device)仅对光强(联合功率谱) $|G(u, v)|^2$ 有响应

$$|G(u, v)|^2 = |F(u, v)|^2 + |H(u, v)|^2 + F^*(u, v)H(u, v)\exp(-i4\pi bu) + F(u, v)H^*(u, v)\exp(i4\pi bu) \quad (3)$$

这一强度分布经 P_2 平面上的空间光调制器转换为振幅分布, 假设用单位振幅的平面波(实际情况一般不为单位振幅, 实际结果与这里给出的结果仅差一常数)读出, 则经过傅里叶变换透镜 FTL₂ 变换后在 P_3 平面上得到

$$g'(x, y') = f(x', y') \star f(x', y') + h(x', y') \star h(x', y') + f(x', y') \star h(x', y') \star \delta(x' + 2b, y') + h(x', y') \star f(x', y') \star \delta(x' - 2b, y') \quad (4)$$

(4)式中算符 \star 表示相关运算, $*$ 表示卷积运算. 由(4)式可见联合变换相关的结果在 P_3 平面上得到三部分输出, 如图 3(b)所示. (4)式中的前两项表示 $f(x', y')$ 和 $h(x', y')$ 的自相关, 重叠地位于输出平面的中心部分; (4)式中的第三项和第四项分别表示 $f(x', y')$ 和 $h(x', y')$ 的互相关, 位于 $x' = \pm 2b, y' = 0$, 即位于图 3(b)左右两边的两项, 是一对共轭的互相关项.

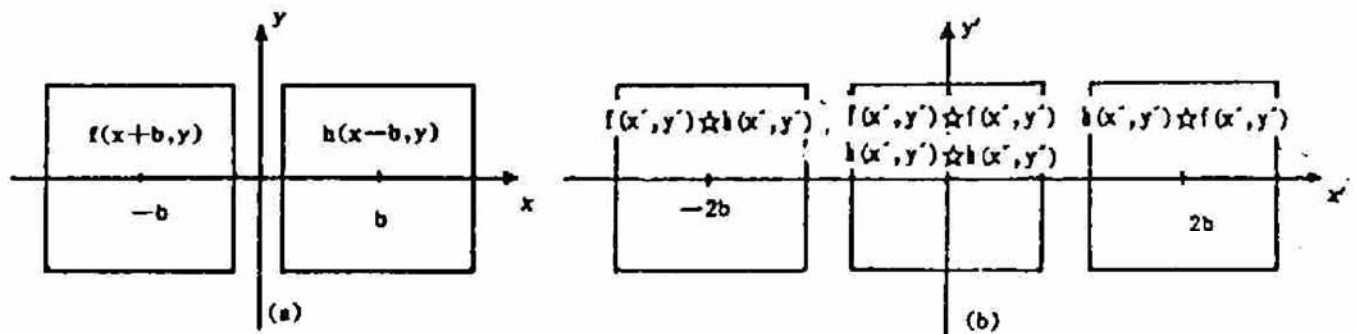


Fig. 3(a) The input plane of a JTC (b) The output plane of a JTC

3 实验结果与讨论

首先对二值目标图像与参考图像, 分别就他们相同与不同两种情况进行了实验研究. 当摄像机输入的目标图像与参考图像相同时, 在相关谱接收平面上观察到有相关峰值输出. 图 4 是目标与参考图像同为坦克时的相关输出结果, 图 5 是目标与参考图像同为卡车时的相关输出结果. 当摄像机输入的目标图像与参考图像不同时, 在相关谱接收面上无相关峰值输出. 图 6 是卡车与飞机分别为目标与参考图像时的相关输出结果.

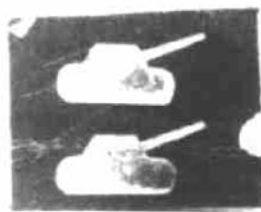


Fig. 4 (a) The input function



(b) The auto-correlation output

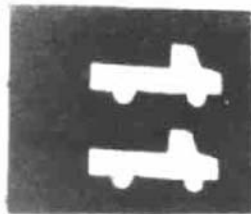


Fig. 5 (a) The input function



(b) The auto-correlation output

比较图 4 和图 5 的结果还可以看出, 对于输入图像与参考图像同为坦克和同为卡车两种情况, 虽然在相关输出平面上均有相关峰值输出, 但在两种情况下谱的细微结构发生了变化. 这一现象不难由相关的定义

$$f(x, y) \star h(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} f^*(\zeta, \eta) h(x + \zeta, y + \eta) d\zeta d\eta \quad (5)$$

去理解, 因为目标与参考图像均为二值图像(可以理解为 0 和 1), 所以二者之相关就是目标

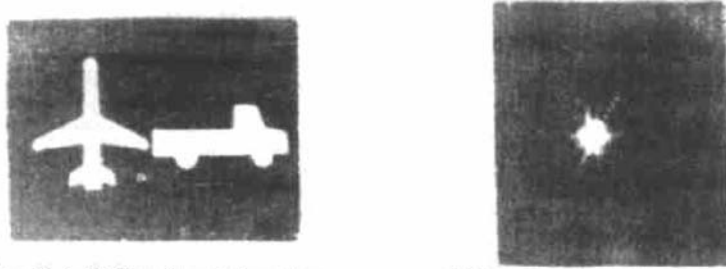


Fig. 6 (a) The input function (b) cross-correlation output

与参考图像分别在二直角坐标方向上相对移动 x, y 后二者重叠部分面积的大小, 目标与参考图像相同时二者的相关为自相关, 对不同图像, 自相关不同是显示而易见的。

在实验中, 可以明显地发现相关峰的强弱主要取决于两相关图像的“相似”性。当两图像的大小、方向、强弱、对比度完全一样时相关峰最大, 而任何方面的变化都会使相关峰值下降。利用(5)式可以进行各个方面的计算, 得到相关峰之值与“相似”性之间量的关系, 从而设置一个合适的目标判别阈值。当然, 该阈值实用时还要由实验和实际环境来修正。本文仅给出了只有一个参考图像的实验结果。对于实时跟踪, 本文的方案是把前一时刻探测到的目标图像作为参考图像, 而把现在时刻探测到的目标图像作为待识别图像, 经由计算机控制使其同时显示在监视器上。如果两个图像采集的时间间隔足够短, 那么这两个图像的“相似”程度就足够大, 从而得到的相关谱足够强。在下一时刻, 就把现在时刻探测到的目标图像当作参考图像, 而把下一时刻测到的最新图像作为待识别图像, 这样总可以在谱面上得到足够强的相关谱。如果用谱面上相关峰值的位置信息去反馈控制摄像机(或其它探测器)的方位, 那么就可以连续实时地对目标进行跟踪。

在实验中, 对光束的准直要求并不严格。如果光束准直不够严格, 为发散光或会聚光, 则谱面的位置和谱的大小将发生变化。这一点从光学全息的角度很容易理解^[7], 因傅里叶变换谱位于光源的共轭面上。对于平行光, 焦面即谱面; 对于发散光, 谱面移到焦面之后, 相对于平行光的情况而言谱被放大; 对于会聚光, 谱面移到焦面之前, 相对于平行光的情况而言谱被缩小。因此, 当光束准直不够严格时, 通过调节空间光调制器 LCLV₂ 和相关谱探测器的位置就可以使系统正常工作。而且对于谱的变化亦可以加以利用, 如果希望谱放大, 可以用发散光去读空间光调制器; 如果希望谱缩小, 则可用会聚光去读空间光调制器; 但用这种方法对谱进行放大或缩小时, 必须结合具体情况进行分析, 必须考虑光能的利用情况。

本文的光电混合联合变换相关系统, 由于受到液晶光阀响应速度的限制, 处理速度不超过 10 frame/s。但除液晶光阀外, 目标的探测、分析、判定、参考图像的更换以及最费时间的相关运算都由高速实时器件完成, 所以如果以铁电液晶光阀代替目前系统中的液晶光阀, 则系统的处理速度至少可以提高两个数量级。为了更进一步地提高处理速度和增强反馈控制功能, 作者进行了多通道实时光电联合变换相关器的研究, 并且得到了较好的实验结果。

结 论 根据联合变换相关的原理, 提出了一种光电混合联合变换实时相关系统, 这一系统利用两个液晶光阀作为接口器件, 用计算机控制, 通过 CCD 摄像机与监视器实时输入目标, 把光学和电子学有机地结合起来, 既具有光学的高速度、并行性等优点, 又具有数字计算机可以编程分析、判断、控制等优点, 文中给出的实验结果验证了系统设计及性能分析的正确

性,随着器件性能的改善,这一系统在光学自适应、模式识别、目标跟踪、机器人视等领域将有重要的应用.

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] J. L. Horner, P. D. Gianino, Phase-only matched filtering. *Appl. Opt.*, 1984, 23(6): 812~816
- [3] F. T. S. Yu, X. J. Lu, A real-time programmable joint transform correlator. *Opt. Commun.*, 1984, 52(1): 10~16
- [4] B. Javidi, D. A. Gregory, J. L. Horner, Single spatial light modulator joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1989, 28(5): 1027~1032
- [5] J. A. Davis, D. M. Cottrell, J. E. Davis *et al.*, Fresnel lens-encoded binary phase-only filters for optical pattern recognition. *Opt. Lett.*, 1980, 14(13): 659~661
- [6] C. S. Weaver, J. W. Goodman, A technique for optically convolving two functions. *Appl. Opt.*, 1966, 5(7): 1248~1249
- [7] 于美文, 光学全息及信息处理, 北京:国防工业出版社, 1984

Real-Time Hybrid Joint Transform Correlator

Qin Yuwen Huang Zhanhua Zhang Yimo

(*Institute of Contemporary Optical Instruments Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

(Received 25 May 1993; revised 26 September 1993)

Abstract A real-time hybrid joint transform correlator, using a LCLV as input device and another one to record and display the joint power spectrum, is proposed according to the principle of joint transform correlation. Experimental results verified the correctness of system design and performance analysis.

Key words Real-time joint transform correlator, optical pattern recognition, optical self-adaptation, hybrid optical correlator.