

# 光电混合体全息子波关联存储 车辆牌照识别系统\*

冯文毅 严英白 金国藩 邬敏贤 何庆声

(清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京, 100084)

U491.116

**摘要** 提出并构建了一个新型的实时光电混合车辆牌照识别系统。系统摄取车辆牌照, 由计算机完成牌照字符的分割和提取后, 送入光学体全息子波关联存储协处理器进行牌照识别, 该协处理器具有瞬间多通道并行相关特性, 并采用子波变换提高系统的鉴别能力, 实验结果验证了系统各项功能的可行性。

**关键词** 体全息存储, 子波变换, 相关检测, 车牌识别。

光电混合

## 引言

车辆牌照的自动识别是实现交通管理智能化的重要环节之一, 是机动车道自动收费、停车场自动管理和交通违规自动记录等应用场合的核心技术。光电混合型图像处理系统将光学的快速并行性与电算的灵活性有机地结合起来, 十分适用于车辆牌照识别的大批量和高效率要求。

基于光折变晶体的体全息存储技术因具有存储容量大、传输速率高和寻址速度快等优点而得到人们的重视<sup>[1]</sup>, 并在智能交通领域得到应用。基于体全息存储的车辆自动导航系统已经出现<sup>[2]</sup>。体全息关联存储车辆牌照识别系统利用晶体的关联存储特性, 由特定角度的参考光复合来记录车辆牌照中的字符模板, 并通过检测由待识字符调制的物光读出的系列“参考光”中强度最大者的方位来进行识别。该系统具有瞬间多通道并行相关操作的独特优点, 将子波变换引入体全息相关系统<sup>[3]</sup>, 可以进一步改善相关峰的质量, 提高系统的鉴别能力<sup>[4]</sup>。

本文对车辆牌照和所需识别的字符进行了分类, 用连通域搜索算法, 实现牌照的分割和提取; 在对比子波相关和传统相关的基础上, 描述了体全息子波关联存储协处理器的相关机理、体系结构和运作方式, 并利用实时采集的车牌图象进行了应用实验研究。

## 1 车辆牌照和字符的分类

我国目前使用最多的车辆牌照格式为“□·△····”, 由 7 个字符组成, 其中“□”为汉字, 一般为省、自治区、直辖市的简称或天干地支; “·”为英文字母; “△”为英文字母或阿拉伯数字; “·”为阿拉伯数字。其它特殊形式的牌照主要有: 公安车辆, 格式为“□·△····”。

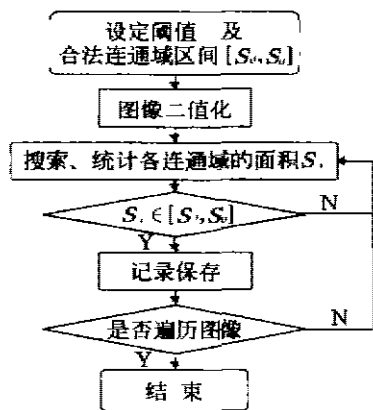
\* 国家自然科学基金(编号: 69877007)及 863 高科技基金(编号: 863-307-14-4)资助项目  
稿件收到日期 1999-01-04, 修改稿收到日期 1999-04-12

、警”(7 个字符);武警车辆,格式为“WJ·(·,·,·,·,·)”(9 个字符);其中符号的意义与上述相同.由此,待识别的字符模板可以分为以下三类.汉字 54 个;包括京、津等省级简称 31 个,甲、乙等天干 10 个,子、丑等地支 12 个,以及“警”字;英文字母 26 个;A、B、……、Z;阿拉伯数字 10 个;0、1、……、9.字符总数为 90 个.本文仅考虑 7 个字符车辆牌照的识别.

## 2 车辆牌照字符的连通域搜索分割算法

实时摄取车辆图像后,首要任务是将车辆牌照字符分割并提取.由于车辆种类的多样化,车辆牌照的背景通常比较复杂,能否分割,以及分割质量的好坏,直接影响到识别的效果.

车牌字符的分割是由软硬件共同承担的.硬件系统应为软件提供尽可能清晰的图像,并且对环境光照变化有一定的适应能力.本文采用的连通域搜索分割算法流程如图 1(a)所示.先根据图像的灰阶直方图分布选定阈值  $T$  将图像二值化,二值图像由多个大大小小的黑或白连通域组成.选定的阈值比较合理时,车辆牌照上的每个字符都将是一个独立的连通域.由于系统是通过传感器(如压埋线圈)触发执行的,可以保证图像摄取距离相对比较固定,因此字符连通域的面积相对稳定于区间  $[S_l, S_u]$  之中.统计各连通域的面积  $S_i$ ,若  $S_i$  包含于区间  $[S_l, S_u]$ ,则视为合法连通域,否则为非法连通域.搜索出二值图像中的所有合法连通域,并取其中尺度最为接近的 7 个,即完成了字符的分割和提取.提取的字符大小可能因摄取距离的不同而有所变化,需要对其尺寸做归一化处理.图 1(b)为实验中摄取的一幅车辆图像(24 位真彩色),其字符分割提取结果如图 1(c)所示.提取的字符被送入光学体全息子波关联存储协处理器进行识别.



(b)



(c)

(a)

图 1 车辆牌照字符的分割提取

(a) 连通域搜索分割算法简图 (b) 车辆图像(24 位真彩色) (c) 分割提取结果

Fig. 1 Extraction of the characters on a license plate

(a) flow chart of the extraction (b) a car image with a license plate (c) the extracted results

### 3 体全息子波关联存储协处理器

体全息子波关联存储协处理器综合了体全息存储、子波变换和相关检测等多项技术,具有并行性好、处理速度快和识别准确率高等优点。

#### 3.1 子波相关理论

传统相关是待识图像与模板图像间的直接匹配操作,子波相关则通过选择适宜参数的子波函数分别对待识图像和模板图像进行滤波,提取图像间最具差异的特征,实现特征间的匹配操作,因而具有更高的鉴别能力。

设待识图像与模板图像分别为  $f(x, y)$  和  $s(x, y)$ , 则其子波相关定义为<sup>[1]</sup>

$$\begin{aligned} & [f(x, y) \odot h_a^*(x, y)] \odot [s(x, y) \odot h_a(x, y)] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) H^*(a, u, a, v) S^*(u, v) H(a, u, a, v) \exp[i2\pi(ux + yv)] dudv, \quad (1) \end{aligned}$$

式(1)中“ $\odot$ ”为相关操作,  $h_a(x, y) = \frac{1}{a, a} h(\frac{x}{a}, \frac{y}{a})$  为子波函数,  $a = (a_x, a_y)$  为尺度因子,  $F(u, v)$ ,  $S(u, v)$  和  $H(a, u, a, v)$  分别为  $f(x, y)$ ,  $s(x, y)$  的傅里叶变换。

本文选择墨西哥帽子波函数<sup>[1]</sup>构造滤波器,用以提取图像的边缘特征,其二维频域形式:

$$H(u, v) = 4\pi^2(u + v) \exp[-2\pi(u^2 + v^2)] \quad (2)$$

为一正实值函数,便于制作。为获得最佳的相关匹配效果,文中根据滤波器评价参数<sup>[1]</sup>对字符图像在不同尺度下的子波匹配效果进行了统计分析,获得了近似最优尺度的子波滤波器。

以车辆牌照中的字符“E”和“F”为例分析子波相关的性能。由于字符“E”完全包含“F”(见图2(a)),若采用传统匹配操作,“F”和“E”的互相关峰值等于“F”和“F”的自相关峰值(见图2(b)),因此当识别字符“F”时,会发生误判。采用墨西哥帽子波滤波器(见图2(c))对两个字符进行滤波预处理,结果如图2(d)所示,字符的边缘特征被提取出来。由于字符“E”的边缘不能完全包含“F”的边缘,因此“F”和“F”的子波自相关峰值大于“F”和“E”的子波互相关峰值(见图2(e))。可见,图像经过子波变换后,提高了匹配相关的鉴别能力。

#### 3.2 体全息子波相关机理

根据式(1),先在光折变晶体中存储模板图像子波滤波的多重谱全息,然后用待识图像的子波滤波谱读取存储的全息图,再对读出信息作傅里叶反变换便可得到子波相关结果。

忽略晶体厚度及有限截面尺寸影响,在晶体中记录的角度多重子波滤波谱全息图可简写为

$$\begin{aligned} I &= \sum_m |S_m(u, v) H(a, u, a, v) + R_m(u, v)|^2 \\ &= \sum_m \{ |S_m|^2 |H|^2 + |R_m|^2 - S_m^* H^* R_m - S_m H R_m^* \}, \quad (3) \end{aligned}$$

式(3)中  $S_m(u, v)$  为模板图像  $S_m(x, y)$  的傅里叶变换,  $R_m(u, v)$  表示  $S_m(x, y)$  对应的参考光束。

识别时,用待识图像  $f(x, y)$  的子波滤波谱去读取晶体中的全息图,读出结果为

$$C(u,v) = F(u,v)H(a,u,v)I(u,v) = \sum_m F S_m |H| \cdot H - F R_m^2 H + F S_m |H| + F S_m^2 |H| \cdot R_m + F S_m H^2 R_m^2, \quad (4)$$

考察式(4)中满足布拉格匹配条件的第 3 项,作傅里叶反变换得

$$c \propto \sum_m (f \otimes h^*) \otimes (s_m \otimes h^*), \quad (5)$$

若待识图像  $f$  与某一模板图像  $s_m$  一致,则在记录参考光  $R_m$  方向的相应位置处会出现一子波自相关峰,其余位置则为子波互相关,由于输出面上各相关峰的位置与模板图像一一对应,因此根据最大相关峰出现的方位,便可以判断出待识图像的归属。

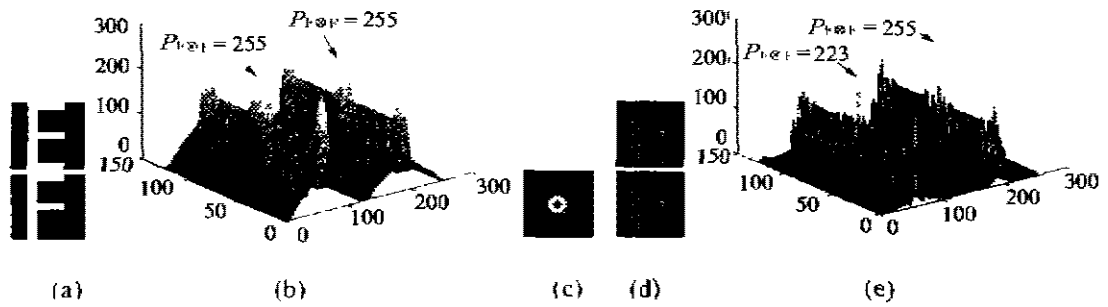


图 2 模拟计算结果

(a) 字符“E”与“F” (b) 传统相关结果 (c) 子波滤波器 (d) 子波滤波图像 (e) 子波相关结果

Fig. 2 Simulated results

(a) images of “E” and “F” (b) conventional correlation results (c) the wavelet filter

(d) wavelet filtered images (e) wavelet correlation results

### 3.3 体全息子波相关协处理器原型

图 3 为体全息子波相关协处理器光路示意图,激光器发出的光经滤波、扩束、准直和分

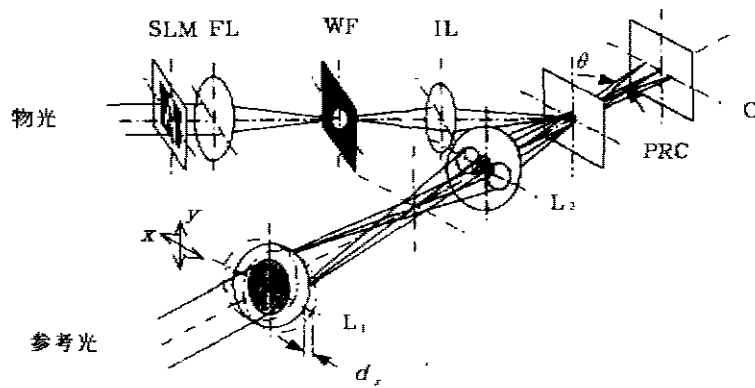


图 3 体全息子波相关协处理器光路示意图

Fig. 3 Schematic drawing of the volume holographic wavelet correlation coprocessor

束后,获得物光和参光两束光路.参考光束经透镜 $L_1$ 和 $L_2$ 组成的光束扫描机构后,投射到光折变晶体PRC上.为保证参考光束在晶体记录面上的大小和位置不发生变化,仅有方向变化.需要使扫描透镜 $L_1$ 所在的平面与晶体记录面关于透镜 $L_2$ 成物像关系.当透镜 $L_1$ 相对于光轴中心线在 $x$ 和 $y$ 方向分别移动 $d_1$ 和 $d_2$ 时(图3中仅画出沿 $x$ 方向移动的情形),由几何光学理论,可得晶体中入射光束的偏转角 $\theta$ 为:

$$\theta = \arctan\left(\frac{l_1 - l_2}{f_1 f_2}\right) \sqrt{d_1^2 - d_2^2} \approx \frac{l_1 - l_2}{f_1 f_2} \sqrt{d_1^2 - d_2^2}, \quad (6)$$

式(6)中, $f_1$ 和 $f_2$ 分别为透镜 $L_1$ 和 $L_2$ 的焦距, $l_1$ 为透镜 $L_1$ 和 $L_2$ 的间距.由于系统采用了球面参考光波,具有比平面波更低的串扰噪声和更为紧凑的系统结构<sup>[5]</sup>.对提高多通道体全息相关的识别准确率十分有利,相关输出就在球面参考光波的会聚面(O)上.物光光路中,空间光调制器SLM上的输入图像经透镜FL的傅里叶变换谱被子波滤波器WF滤波后,由成像透镜IL成像在晶体记录面上,与参考光束发生干涉,干涉产生的全息图因光折变效应而记录在晶体中.

记录时,更换输入图像,并在垂直于透镜光轴的 $x$ 和 $y$ 方向平移透镜 $L_1$ ,便可实现角度多重记录.读出时,关闭参考光路,输入待识图像,就可以在参考光波的会聚面(O)上得到多个通道的相关输出结果,每一通道相关输出的位置和峰值与记录时存储于该通道的图像一一对应.相关输出由CCD获取后,送至计算机作峰值检测.由于模板图像的记录可以事先进行,读出操作是在瞬间完成的,因此可以实现图像的实时识别及跟踪.

#### 4 车辆牌照识别的实验研究

采用光折变晶体体全息子波相关协处理器进行车辆牌照字符识别的优点在于在晶体中事先存储了所有90个字符模板的图像,应用时只要输入待识字符,便可以在协处理器的一次并行输出中获得待识字符与90个字符模板的相关结果.采用最大相关检测,就能方便快速地实现字符的识别.实验所用的He-Ne激光器额定功率为30mW,工作波长为 $0.6328\mu\text{m}$ ;记录晶体选用Fe:LiNbO<sub>3</sub>晶体,其尺寸大小为 $8 \times 8 \times 3\text{mm}^3$ .实际制作的滤波器用打印精度为3600dpi的激光打印机打印在胶片上.

为便于进行相关检测,字符模板与输出面上相关通道的位置对应关系如图4所示.存储时,先记录下透镜 $L_1$ 在 $x$ 方向的起始位置,然后在 $x$ 方向角度复合存储“京~藏”31个汉字;接着将透镜 $L_1$ 恢复到 $x$ 方向的起始位置处并在 $y$ 方向平移一定距离,再在 $x$ 方向角度复合存储“甲~警”23个汉字;依此类推,分别存储“A~Z”26个英文字母以及“0~9”10个阿拉伯数字.

依次输入图1(c)中分割提取的7个字符,CCD获取的系统原始输出结果如图5所示.对照图4所示的位置对应关系可知,最大相关峰均出现在正确的位置上.

由于从不同车辆图像中分割出来的同一个

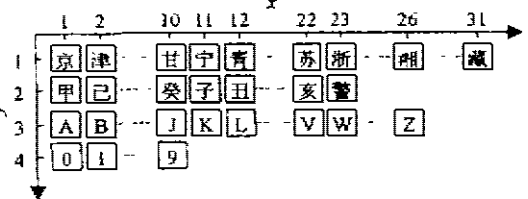


图4 输出面上相关通道和字符的对应关系  
Fig. 4 Relationship between characters and correlation channels on the output plane

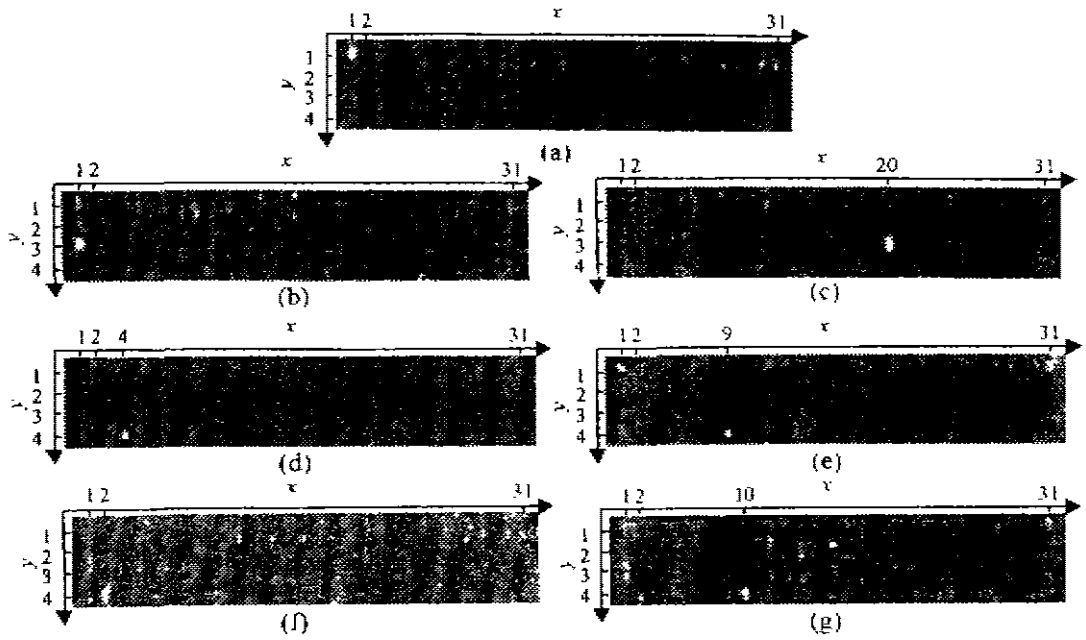


图 7 实验结果

(a),(b),(c),(d),(e),(f),(g)分别对应于字符“京”、“A”、“1”、“3”、“8”、“I”、“S”的系统输出结果

Fig. 7 Experimental results

(a),(b),(c),(d),(e),(f),(g): system outputs of characters: “京”, “A”, “1”, “3”, “8”, “I” and “S”

字符不尽相同,故而要求系统有一定的抗畸变能力.文中系统对缺损和缩放(由分割时的归一化处理来保证)具有很好的适应能力,对旋转只具有一定范围内的不变性(约±8°),进一步的研究正在进之中.图6为分割提取的不同“京”字,以及相应的系统输出结果.由图6可知,系统的抗畸变能力基本满足实用要求.



图 6 不同“京”字的系统输出结果

Fig. 6 System outputs with different types of “京”

### 5 结语

模拟计算和实验结果证明了基于连通域搜索算法分割提取车辆牌照字符和采用体全息子波关联存储协处理器识别字符是可行和有效的.系统具有实时进行车辆牌照识别的能力,并且速度快、准确率高,充分体现了光电混合系统的优越性.如何提高系统适应外界环境的能力和畸变不变性有待进一步研究.随着晶体体全息存储技术和相关器件的成熟,本系统具有开发潜力,并有望实用化,在智能交通领域中拥有广阔的应用前景.

## REFERENCES

- 1 Heaune J, Bashaw M, Hesselink L. Volume holographic storage and retrieval of digital data. *Science*, 1994, **265**:749~752
- 2 Pu A, Denkewalter R, Psaltis D. Real-time vehicle navigation using a holographic memory. *Opt. Eng.*, 1997, **36**(10):2737~2746
- 3 Wen M, Yin S, Purwardt P, *et al.* Wavelet matched filtering using a photorefractive crystal. *Opt. Comm.*, 1993, **99**:325~330
- 4 Li Jun, Zhang Yuechun, Hu Jiasheng. Object recognition with a wavelet transform based joint transform correlator. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(5):775~777
- 5 Feng Wenyi, Huang Gaogun, Yan Yingbai, *et al.* Multichannel wavelet correlators by the use of associative storage in a photorefractive material. *Proc. of SPIE*, 1998, **3554**:149~154
- 6 Ouziel I, Mendlovic D. Two-dimensional wavelet processor. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(29):5839~5846
- 7 Kumar B V K, Hassebrook L. Performance measures for correlation filters. *Appl. Opt.*, 1980, **29**(20):2997~3005

**OPTO-ELECTRONIC HYBRID LICENSE PLATE RECOGNITION  
SYSTEM BASED ON VOLUME HOLOGRAPHIC  
STORAGE AND WAVELET CORRELATION\***

FENG Wen-Yi YAN Ying-Bai JIN Guo-Fan

WU Min-Xion HE Qing-Sheng

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments,

Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** A novel real-time opto-electronic system was proposed and constructed for license plate recognition. The extraction of characters in a license plate image was accomplished by a computer, and the recognition of the characters was achieved by a coprocessor based on volume holographic storage and wavelet correlation. The coprocessor has the ability of multi-channel processing in a parallel and instant way. The feasibility of the system was testified by experimental results.

**Key words** volume holographic storage, wavelet transform, correlation identification, license plate recognition.

---

\* The project supported by the National Natural Science Foundation and High-Techonology Foundation of China  
Received 1999-01-04, revised 1999-04-12