

利用激光脉冲飞行时间测量货车车厢体积

邢冀川¹ 佟明明²

(¹北京理工大学光电学院, 北京 100081)
(²中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要 介绍了利用激光脉冲飞行时间测距技术测量货车车厢体积的技术方案。通过该方法,可以准确地把2~6轴货车的车厢体积从货车体积中分离出来并计算得到。通过所采用的三阶高度矩算法——此算法来源于数字图像处理边缘检测中的三阶灰度矩,对于各种车轴的货车,都可以精确地去除车头和车底货架并计算出车厢体积,而且针对台阶状的6轴车,台阶点的位置和车厢体积也能准确地获得。此外,所介绍的货车截面数据翻摺拼接技术激光扫描测距仪的数量可以减少到2台。该测试方式已应用到货车厢体积测量的实际工程中,通过大量实际货车数据验证,它能很好地计算出货车厢的体积。

关键词 激光光学;脉冲飞行时间测距;体积测量;边缘检测

中图分类号 TN247 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.s108001

Measure Truck Carriage Volume with Laser Pulse Time-of Flight

Xing Jichuan¹ Tong Mingming²

(¹School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)
(²China Airborne Missile Academy, Luoyang, Henan 471009, China)

Abstract Truck carriage volume is measured with laser pulse time-of-flight range finding. By this scheme, the carriage part can be correctly segmented from the whole truck with 2~6 axles and calculated. With the third height moment, which is based on the gray moment for edge detection algorithm in digital image processing, the head and underframe of trucks with all kinds of axles are divided and computed for the volume of the carriage. Especially for 6-axle truck with the bench-shape, the point of bench turn and volume of the carriage are accurately calculated. Besides, using the technique of rolling-over and merging of the cross section data of truck body, the number of laser scanner is downsized to 2. The above techniques are already utilized in the project for carriage volume measurement. With a lot of results proved, carriage volume of trucks can be rightly calculated.

Key words laser optics; pulse time-of-flight rang finding; volume measurement; edge detection

OCIS codes 140.3538; 280.3400; 120.6550; 100.2960

1 引 言

在高速公路的“绿色通道”检查中,需要检查出夹带违规货品(不属于免收通行农产品)的车辆^[1]。为了替代人工落后的检查手段,多家单位联合研制出绿色通道比重法检测系统,其中本单位承担了开发货车车厢体积测量分系统的任务。

在利用上述系统测量过程中,车厢从货车的体积中分离需要精确地判断出不同车轴货车的车头位

置,并且计算车厢的体积时还要去除车底货架(包含车轮)。此外,对于6轴货车,车货架经常呈台阶状分布(前高后低),车厢体积分割技术也要能准确地确定出台阶所在的位置以及前后台面的高度。

此算法基于 Tabatabai 等^[2,3]提出的前三阶灰度矩边缘检测法,计算出对于各种车轴的货车,都能精确地去除车头和车底货架来计算出车厢体积,而且针对有台阶的6轴车,车厢的体积也能准确地获

收稿日期: 2012-02-03; 收到修改稿日期: 2012-03-15

作者简介: 邢冀川(1974—),男,讲师,主要从事光电测试和检测工作和光电信息处理等方面的研究。

E-mail: michaelhsing@163.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网(www.opticsjournal.net)

得。在最终生成的货车车厢体积三维图中,可以看出车厢的三维部分(黄色表示)被准确地从货车整车三维图(红色表示)中分割出来。

另一方面,截面数据翻摺拼合技术可以减少激光扫描测距仪^[4,5]的使用数量;原先系统要合成、积分出货车车箱体积需要使用三台激光扫描测距仪(左右侧面各一台、顶面一台),利用该技术,侧面视图数据的翻摺和拼合算法可以节省一台侧面扫描测距仪,从而降低了系统的成本。

2 激光扫描测距仪的原理

激光以其高亮度、高方向性、高单色性等优点,被广泛应用于各种测量领域中。激光测距^[6,7]相比红外测距、超声波测距等方式,具有速度快、实时性强、获取数据精度高等特点。激光测距技术已在汽车防撞、建筑或空地安全监护、轨道交通等领域得到了广泛的应用。

激光扫描测距仪是一种户外型非接触式的高精度、高解析度外部传感器。其工作原理是基于对激光脉冲飞行时间的测量,按照定义好的时间间隔发出激光脉冲,通过定时器计算发射脉冲和接收脉冲之间的时间间隔来得到与被测物体之间的距离。脉冲激光束^[8,9]经过测距传感器内部的一个旋转反光镜的反射对周围环境形成扇面扫描。激光扫描测距的工作原理如图 1 所示。

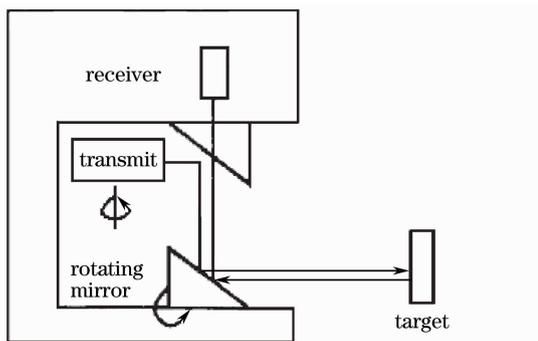


图 1 激光扫描测距仪工作原理图

Fig. 1 Working schematic diagram of laser scanner

根据时间间隔处理的结果 t 可计算出待测目标的距离 L 为

$$L = ct/2, \quad (1)$$

式中 c 为光速,可知脉冲测距精度 ΔL 表示为

$$\Delta L = c\Delta t/2. \quad (2)$$

系统处理时间间隔精度 Δt 直接决定了脉冲激光测距系统的测距精度 ΔL 。

扫描测距仪扫描工作方式如图 2 所示。扫描测

距仪每次扫描均从 0° 起始角开始逆时针扫描至终止角 100° ,以固定角度(如 1°)间隔进行测距,得到的结果同时包含了角度信息和距离信息。

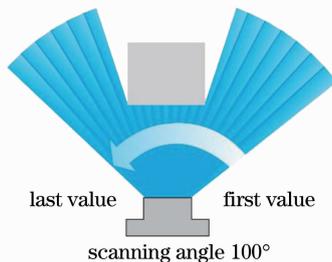


图 2 扫描测距仪扫描工作方式

Fig. 2 Process of laser scanner working

3 货车车厢体积检测系统设计

整个系统安装了两台激光扫描仪,一台安装在货车进入车道的左上方(侧面激光扫描仪),另一台安装在车道尽头的顶部(顶面激光扫描仪),如图 3 所示。



图 3 车厢体积计算系统现场安装图

Fig. 3 Site installation image of laser scanners in the volume measurement system

车厢体积测量系统由货车截面测量子系统(由侧面激光扫描仪构成)和货车长度跟踪测量子系统(由顶面激光扫描仪构成)、车厢体积分割子系统以及车厢体积计算子系统组成,如图 4 所示。

货车截面测量子系统由位于检测通道侧面的激光扫描测距仪组成。扫描测距仪对货车顶部进行扫描,当被测货车通过测量区域后,可以得到此货车的扫描点云。通过对扫描点云进行分析和计算,得到货车的宽度和高度的多个扫描线集合。

当扫描测距仪安装在车道侧左上方,扫描面垂直地面和车行方向时,货车顶部到扫描测距仪的距离和地面到扫描测距仪距离的差就是货车的截面高度 h ,利用货车顶部所覆盖的扫描角度可以计算出货车的截面宽度 S_i 。

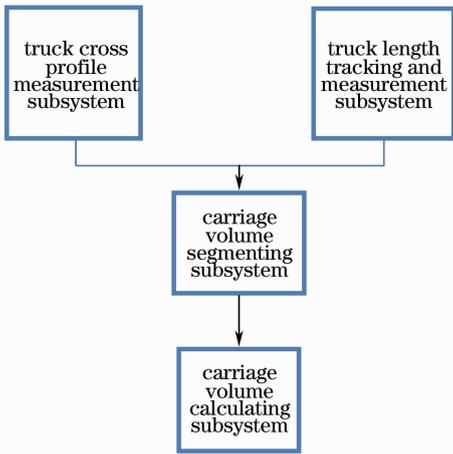


图 4 车厢体积测量系统组成图

Fig. 4 Structure diagram of the carriage volume of trucks measurement system

顶面和侧面的激光扫描测距仪是同步的,每一次从起始角到终止角的扫描过程称为一帧数据,货车长度跟踪系统不断跟踪车头在车道中的行进方向的位置变化,实时获得两帧数据间车头的移动距离 Δl_i ,通过截面宽度 S_i 和移动距离 Δl_i 同步性,再进行积分计算就可以准确地获得货车的体积,而且这种体积的计算方法不会受到货车行驶速度的影响(即使货车偶然暂停)。

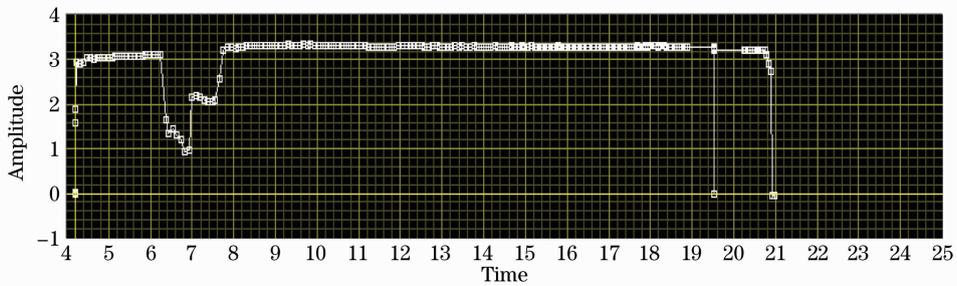


图 6 六轴货车纵剖面的数据图

Fig. 6 Data graph of the 6-axle truck longitudinal section

5 车厢体积分割子系统

5.1 去车头和车厢底

利用车轴的信息能帮助对车头到车厢过渡部分精确地分析;一般 2 轴车车头长 1.9~2.1 m,3、4 轴车头长 2~2.3 m,5、6 轴车头 3.3~4.1 m,通过这些数据来缩小搜索车头和车厢的连接处的范围。具体搜索的算法是采用 Tabatabai 等^[10]提出的前三阶灰度矩边缘检测法。

灰度矩边缘定位法的基本原理是假设实际图像中的实际边缘分布与理想阶跃边缘模型的灰度矩保持一致,即矩不变。通过此关系来确定实际边缘的

4 货车截面测量子系统

货车截面面积的测量主要通过侧面激光扫描测距仪完成测试,安装关系如图 5 所示。

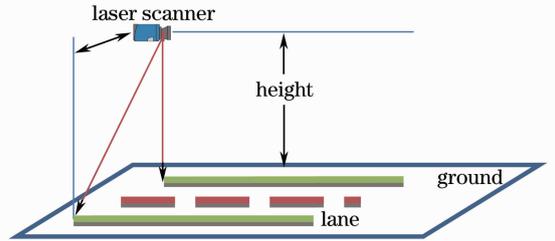


图 5 货车截面测量的布局图

Fig. 5 Layout for the measuring the cross profile of trucks

在被检货车行进通道上,搭建遮光和挡雨的顶棚,侧面激光扫描测距仪安装在顶棚下方、车道的一侧。

货车截面测量子系统记录在货车进入通道时开始记录侧面激光扫描测距仪的数据,当货车离开通道时停止记录数据。对记录的数据进行抽取(抽取的数据宽度为以车道中心线为基准左右各 5 个数据),所抽取的数据能很好地反映货车车顶在侧面传感器记录下数据的变化情况,再结合货车位移数据(由顶面传感器采集)就可以画出车纵剖面的数据图,示例图如图 6 所示。

位置。实验中使用车体的高度来代替灰度值实现对车身边缘的检测。

一维理想阶跃边缘模型可以认为是由一系列具有高度 h_1 与一系列具有灰度 h_2 的车体扫描点相接而构成的。这个一维理想边缘由 3 个参数决定:边缘位置 k 、边缘两侧的高度值 h_1 和 h_2 。如图 7 所示,其中离散点表示实际边缘点,粗折线表示理想边缘。

设 $u(x)$ 为理想阶跃函数,则一维理想边缘函数可表示为

$$H(x) = (h_2 - h_1)u(x - k) + h_1. \quad (3)$$

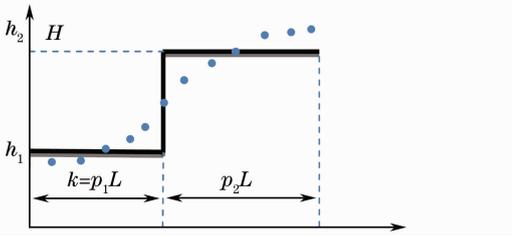


图 7 一维理想边缘模型

Fig. 7 One-dimensional idea edge model

设 p_1 和 p_2 分别表示高度值为 h_1 和 h_2 的扫描点所占的比例,两者满足

$$p_1 + p_2 = 1. \quad (4)$$

设单调序列 $h_j (j=1,2,\dots,N)$ 为实际边缘点的高度值,则该序列的前三阶高度矩满足

$$\bar{m}_i = \sum_{j=1}^2 p_j h_j^i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N h_j^i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

式中 N 为实际边缘点的总个数, $p_1 = k/N$ 。(3)、(4)和(5)式包含 3 个未知数 p_1, h_1 和 h_2 ,求解可得

$$h_1 = \bar{m}_1 - \bar{\sigma} \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}, \quad (6)$$

$$h_1 = \bar{m}_1 - \bar{\sigma} \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}, \quad (7)$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \left[1 + \bar{s} \sqrt{\frac{1}{4 + \bar{s}^2}} \right], \quad (8)$$

其中:

$$\bar{\sigma}^2 = \bar{m}_2 - \bar{m}_1^2, \quad (9)$$

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{m}_1)^3}{\bar{\sigma}^3} = \frac{\bar{m}_3 + 2\bar{m}_1^3 - 3\bar{m}_1\bar{m}_2}{\bar{\sigma}^3}, \quad (10)$$

可以求得边缘点位置

$$k = Np_1 - \frac{1}{2} = \frac{N}{2} \sqrt{\frac{\bar{s}}{4 + \bar{s}^2}} + \frac{N-1}{2}. \quad (11)$$

这里设序列 h_i 中第一个扫描点的位置取为 0。示例图如图 8 所示。

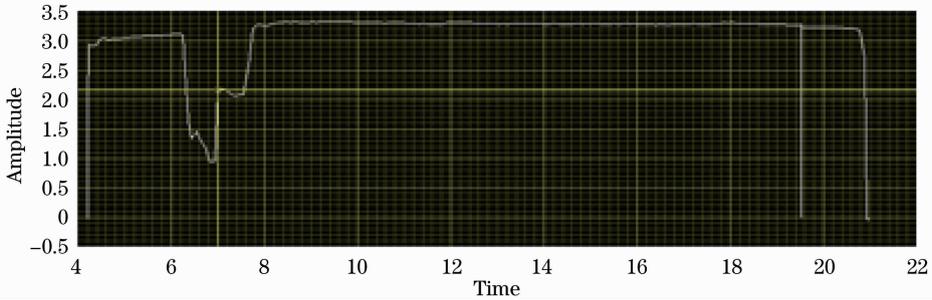


图 8 三阶高度矩法求车头和车厢连接处示例图

Fig. 8 Achieving the junction of the head and carriage of trucks by the third order height moment

在图 8 中,数据是 6 轴车纵向剖面高度曲线,利用车轴数缩小搜索区间并结合三阶高度矩边缘检测法来检测车厢体起始位置,从图 8 中看出此方法能准确地定位车头和车厢的连接处(如数据曲线中的黄色十字交叉线交点处)。

利用类似的方法,结合车轴相关车厢底高度信息,也能准确地找出 2~6 轴车(不含 6 轴带台阶的货车)车厢底的位置,从而在计算车厢体积时可以去掉车底。

5.2 六轴车厢底台阶的判断

有相当数量的 6 轴车的车厢底是呈台阶状分布的,前高后低。这是因为有些 6 轴车在前高的车底处有轮子,而后面的车底则较低;对于车不呈台阶状分布的 6 轴车,其车底往往高于 1.3 m。利用 6 轴车数据信息并对在台阶附近的数据曲线应用三阶高度矩求边缘算法,也能较容易地判断出 6 轴车是否

存在有台阶以及台阶所在的位置和前后车厢底台面的高度,从而准确地去除 6 轴车含有台阶车厢底。示例图如图 9 所示。

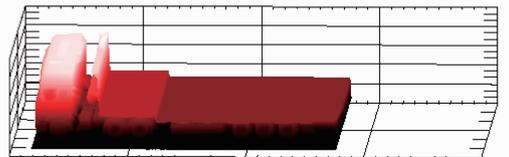


图 9 求出带台阶的六轴车厢底台阶位置

Fig. 9 Calculating the turn point of the "bench" shape trucks with 6-axle

5.3 截面数据的翻摺和拼合

实验中测量系统出于降低成本和实际现场情况(绝大多数货车的截面左右侧呈对称分布)的考虑,利用翻摺和拼合算法,对侧面激光扫描测距仪所采集的进行处理,从而可只用侧面一台激光扫描测距

仪加上顶面的激光扫描测距仪就可以形成货车车厢体积的三维模型,算法的基本过程如下:

- 1) 对截面数据曲线求一阶导数找奇异点,找出需要翻摺的拐点;
- 2) 如果导数某数连续后 4 个值小于 0,认为找到车身右侧拐点;
- 3) 车身拼接中心轴 $t = (x_2 + x_1)/2$,车身截面数据 x_i 围绕 t 轴反转,反转后新坐标 $x = 2t - x_i$,其中 x_1 为车身左侧的起始点, x_2 为车身右侧的拐点;
- 4) 取镜像数据的最后值和原始数据接点的第二值做插值,得到数据接点的第一值,可提高镜像接缝效果。

数据拼接示例图如图 10 所示。

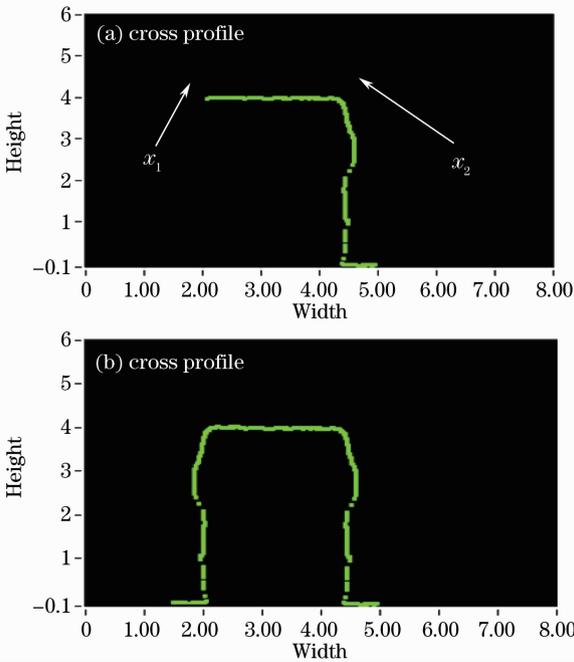


图 10 (a) 车侧截面的数据曲线图 (b) 数据拼接后曲线图
Fig. 10 (a) Curve of the truck's cross profile before merging; (b) curve of the truck's cross profile after merging

5.4 体积的计算

通过去掉车头、车厢底以及截面数据的翻摺和拼合等一系列操作,这时可较容易地计算出车身的截面面积。

由于顶面和侧面的激光扫描测距仪是同步的,货车长度跟踪子系统不断跟踪车头在车道中的行进方向的位置变化,实时获得两帧数据间车头的移动距离 Δl_i ,通过截面宽度 S_i 和移动距离 Δl_i 同步性,再进行积分计算就可以准确地获得货车的体积

$$V = \sum_{i=0}^n S_i l_i, \quad (10)$$

式中 n 为数据的帧数。

示例图如图 11 所示,图(a)为分割后车厢三维图型,图(b)为整车三维图形(其中车厢部分为黄色)。

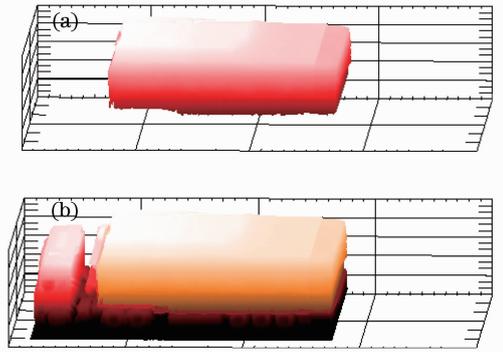


图 11 车厢体积计算的三维图

Fig. 11 Three-dimensional diagram of carriage volume of trucks

6 测试结果和分析

由于货车装载货物后,其顶部一般都不是规则的四方体,所以很难人工精确测量实际尺寸;但是集装箱冷藏货车的外形是规整的立方体,用这些货车的实测数据验证体积测试系统的测试效果是比较可靠的,表 1 是部分集装箱车厢体积对比数据,其中的实测数据为本系统算出的车厢体积,而厂商标称体积为集装箱出厂时货柜体积的标称值。

表 1 部分实测数据和厂商数据对照表

Table 1 Measuring results versus estimating results

Axle	Measuring results /m ³	Manufacturer's data /m ³	Error /%
6	96.03	95	1.09
6	92.02	95	3.13
6	97.91	95	3.05
6	103.10	100	3.10
6	97.97	100	2.03
6	102.12	98	4.20
6	101.94	98	4.02
6	96.70	98	1.32
6	96.95	98	1.07
6	93.79	98	4.29

从数据表中可以看出,利用标准的集装货柜进行测试验证,反映了本系统较好的测试效果和精度。

7 结 论

在货车厢体积测量系统中,如何把车厢从货车体积中准确地分离出来是整个体积测量的重点和难

点。本文介绍了利用三阶高度距的边缘检测算法,可以准确地算出 2~6 轴货车车头和车厢的连接处,从而很容易去除车头。同时,利用该算法也可以同样去除货车车底架以及区分和定位 6 轴的台阶,从而获得准确的车厢体积测量结果。

经过实践证明和检验:利用车厢的分割和计算技术,可以很好地完成车厢体积的测量工作,并且整个测试的结果准确性高,稳定性和重复性好。

参 考 文 献

- 1 Niu Jianqiang, Meng Hongfei, Yang Ruirui. Study on density detect scheme of expressway greenchannels [J]. *Transport Standardization*, 2011, **240/241**(5): 82~83
牛建强, 孟红飞, 杨瑞瑞. 高速公路绿色通道比重法检测方案研究[J]. *交通标准化*, 2011, **240/241**(5): 82~83
- 2 Tabatabai Ali J., Mitchell O. Robert. Edge location to subpixel values in digital imagery [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1984, **6**(2): 188~201
- 3 Lyvers E. P., Mitchell O. Robert. Subpixel measurements using

- a moment-based edge operator[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, **11**(12): 1293~1309
- 4 Lee Kyeong-Hwan, Ehsani Reza. Comparison of two 2D laser scanners for sensing object distances, shapes, and surface patterns[J]. *Comput. Electron. Arg.*, 2008, **60**(2): 250~262
- 5 U. Linlin. Design of detecting system for the width and height of automobiles based on laser ranging technology [J]. *Electronic Design Engineering*, 2011, **19**(10): 103~106
禹琳琳. 基于激光测距技术的车辆宽高检测系统的设计[J]. *电子设计工程*, 2011, **19**(10): 103~106
- 6 Maatta K., Kostamovaara J.. A high-precision time-to-digital converter for pulsed time-to-flight laser radar applications [J]. *IEEE Trans. Instr. & Meas.*, 1998, **47**(2): 521~536
- 7 Ahola R., Myllyla R.. A new method for measuring the time-of-flight in fast laser range finding[C]. *SPIE*, 1986, **654**: 19~25
- 8 Gao G. S., Partridge R.. High speed digital TDC for Dφ vertex reconstruction [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1991, **38**(2): 286~289
- 9 Nutt R.. Digital time intervalometer [J]. *Rev. Sci. Instr.*, 1968, **39**(9): 1342~1345
- 10 Tabatabal A. J., Mitchell O. R.. Edge location to subpixel values in digital imagery [J]. 1984, **6**(2): 188~201

栏目编辑:胡 冰