

文章编号: 1007-2780(2012)04-0545-07

# 单目智能车道偏离预警系统

吕柯岩<sup>1,2</sup>, 朱 明<sup>1\*</sup>, 贺柏根<sup>1,2</sup>, 杨粤涛<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 航空光学成像与测量重点实验室, 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,  
吉林 长春 130033, E-mail: yanxu19861017@sina.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 车道偏离预警系统是继安全气囊之后的汽车安全辅助系统, 该系统主要任务是采用基于机器视觉的方法提取车道线并进行预警决策。文章利用 TMS320DM642 视频处理器作为中央处理器, 设计出基于 DM642 的车道偏离预警系统硬件架构, 算法方面对图像进行灰度化、二值化和边缘提取做预处理, 然后设置感兴趣区域 (ROI), 利用基于相位编组的改进 Hough 变换 (RHT) 进行车道线检测, 根据车道偏离预警条件进行预警决策, 当车辆在驾驶员非意识时偏离车道线的情况下实施报警。试验结果证明, 本系统能够提前 2.5 s 进行车道偏离的预警工作, 并能够排除路面标记的影响, 满足车道偏离预警系统实时、鲁棒的性能要求。

**关 键 词:** 车道偏离预警系统; TMS320DM642; Hough 变换; 相位编组

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122704.0545

## Monocular Aptitude Lane Departure Warning System Design

LV Ke-yan<sup>1,2</sup>, ZHU Ming<sup>1\*</sup>, HE Bai-gen<sup>1,2</sup>, YANG Yue-tao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: yanxu19861017@sina.com;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Lane Departure Warning System (LDWS) is a car safety assist systems, following the capsule of the safety, whose main task is to extract lane markings and make warning-decision. In this paper, the lane departure warning system hardware architecture is designed based on TMS320DM642 which acts as the central processing unit. The algorithms turn the image into grayscale, and then detect the image's edge information, in the end set the region of interest (ROI) on the image. Hough transform based on phase grouping is used to extract the lanes, and according to the lane departure warning conditions, the system analyzes whether the warning should be presented or not and gives the driver warning singles when it is unconscious. The experiments results proved that the system will make warning in 2.5 s before the traffic accident, which implements the aim of the real-time, reliable lane departure warning.

**Key words:** lane departure warning system; TMS320DM642; Hough transform; phase grouping

收稿日期: 2012-03-09; 修订日期: 2012-05-16

基金项目: 中国科学院二期创新基本资助项目 (No. C05T022)

作者简介: 吕柯岩 (1986—), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理。

\* 通讯联系人, E-mail: zhu\_mingca@163.com



### 3 系统的软件开发

#### 3.1 系统的功能

车道偏离预警系统需要实现 3 个功能: 对摄像机采集到的汽车前方具有路况信息的图像进行预处理; 检测出车道线; 判决汽车是否非意识偏离车道并预警。系统的工作流程如图 3 所示。

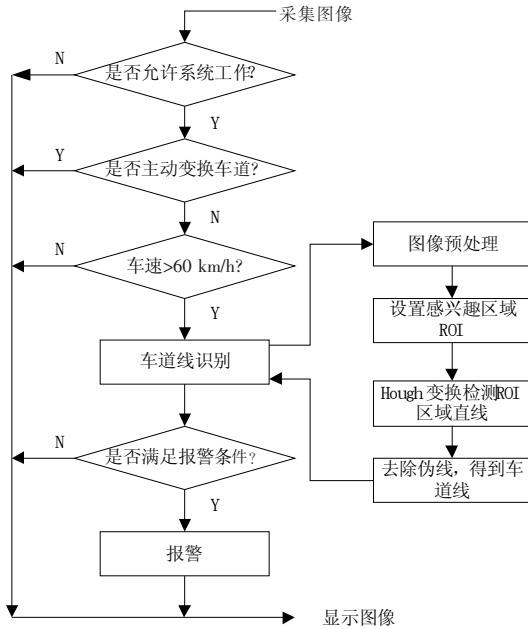


图 3 LDWS 软件系统的流程图

Fig. 3 Flowchart of LDWS's software

首先使用摄像机采集汽车前方的路况, 驾驶员依据自主意识决定是否开启本系统; 如果开启, 系统根据 CAN 总线传输的汽车的转向灯信息 (驾驶员主动打左右转向灯) 判断是否是主动变换车道; 如果不是主动变换车道, 系统再判断车辆的行车速度是否超过 60 km/h, 由于本系统主要是为了避免车辆行驶在高速公路上, 驾驶员容易疲倦从而可能无意识车道偏离造成交通事故而设计的, 所以当车速超过 60 km/h 时系统才能工作, 进入车道线识别模块; 车道线识别模块首先对图像进行预处理<sup>[6]</sup> (彩色图像变灰阶、高斯平滑、图像增强、Sobel 边缘检测以及二值化, 如图 4 所示), 然后利用基于相位编组 Hough 变换的车道线检测算法检测出车道线; 最后通过识别出的车道线, 依据报警条件选择是否报警, 如果满足向左偏离的条件, 则左侧的 LED 变红并且音箱发出报警声音, 否则向右偏离, 右侧的 LED 变红并且音箱发出报警声音, 同时屏幕中出现红色标记的车

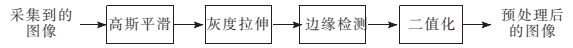


图 4 软件系统的图像预处理

Fig. 4 Pretreatment of the software system

道线做为车道偏离标志; 否则直接输出摄像机采集到的图像到屏幕上。

#### 3.2 基于相位编组 Hough 变换的车道线检测算法

直线有多种表达方式, 其中直线的极坐标解析式是:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

式中,  $x$  和  $y$  是图像中的像素坐标系中的坐标,  $\rho$  为直线到原点的距离,  $\theta$  限定了直线的斜率。若固定图像的左上角为原点,  $\theta$  的取值范围是  $[0^\circ, 180^\circ]$ ,  $\rho$  的取值范围是  $[-R, R]$ ,  $R = \sqrt{w^2 + h^2}$ , 其中  $w$  是图像的宽度,  $h$  是图像的高度。离散化  $\rho$  和  $\theta$ , 开辟另外一个二维参数空间  $H(\rho, \theta)$ , 图像中的每一个像素对应参数空间  $H(\rho, \theta)$  中的一条正弦曲线, 由于任意一条确定的直线对应惟一的一组  $(\rho, \theta)$ , 所以处于一条直线上的像素在  $H(\rho, \theta)$  参数空间中映射的正弦曲线必相交于一点  $(\rho_n, \theta_n)$ , 如图 5<sup>[10]</sup>。

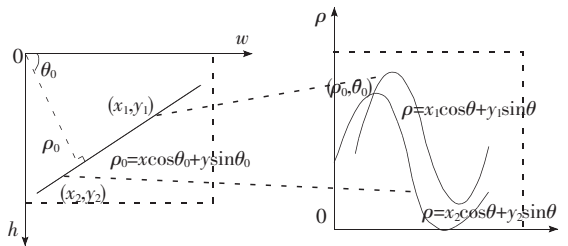


图 5 Hough 变换原理

Fig. 5 Principle of Hough transform

图中一条直线上的两个像素点  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$  的关系可以用式 (2) 表示:

$$\begin{cases} \rho_1 = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta \\ \rho_2 = x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

在  $H(\rho, \theta)$  两条曲线相交于一点  $(\rho_0, \theta_0)$ , 此点便是直线的极坐标。但是, 这种经典的 Hough 变换需要占用大量的存储空间, 耗时大, 实时性差<sup>[11-13]</sup>。

文献[14]提出的 RHT<sup>[14]</sup> (改进 Hough 变换即概率 Hough 变换) 在“多对一” (图像中同一直线上的点对应参数空间中的一个点) 原理的基础

上,找到一个种子点,在局部区域中获取直线参数,然后将此参数扩展到全图范围,完成直线检测。文献[15]提出先用提升小波提取图像轮廓,去除高频噪声,然后再进行用 RHT 提取直线<sup>[15]</sup>,这种方法可以减少内存空间,但是提升小波的使用,计算量相对于 RHT 没有太大改观。相位编组<sup>[16-18]</sup>是利用图像自带的梯度相位信息,将相邻且灰度突变方向相同的像素点编为同一条直线。本文算法——基于相位编组的 Hough 变换车道线检测算法,针对道路实际情况,先设置感兴趣区域(ROI),在 ROI 内使用相位编组法把图像中的像素编组,根据组的面积选择需要进行 RHT 的相位组,不仅减少了不感兴趣区域的像素干扰,也省略了相位方向不满足车道线特征的像素点,节约了大量时间。

基于相位编组的 Hough 变换提取车道线可以分为以下 6 个步骤:

(1)对图像中感兴趣的区域设置 ROI,对 ROI 部分进行处理;

(2)根据公式(3)计算出图像中每个像素的梯度幅值  $G$  和相位  $\alpha$ :

$$G = \sqrt{G_H(i,j)^2 + G_V(i,j)^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{G_H(i,j)}{G_V(i,j)}\right) \quad (3)$$

其中, $G_H(i,j)$ 和 $G_V(i,j)$ 分别是像素 $(i,j)$ 的水平方向和垂直方向梯度。此处梯度的模板采用 $2 \times 2$ 的模板:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(3)相位编组,每个像素的相位范围是 $[0^\circ, 360^\circ]$ ,由于实际情况 $[0^\circ, 180^\circ]$ 就可以涵盖图像中所有直线,所以,只对 $[0^\circ, 180^\circ]$ 进行相位编组,每 $30^\circ$ 分为一组,共 6 组,0~5 编号;

(4)考虑到路面车道线的相位特征,只对相位编组 1~4 区内的点的灰度值拟合灰度表面;

(5)设置全局累加数组  $H(\rho, \theta)$ ,对于面积大于阈值的编组区域  $p_i$  内的点选取种子点进行概率 Hough 变换(RHT),计算出这些编组区域  $p_i$  所支持的  $\rho$  和  $\theta$ ,同时  $H(\rho, \theta) = H(\rho, \theta) + 1$ ;

(6)对全局累加数组  $H(\rho, \theta)$  检测局部峰值,得到局部极大值,即得到图像全局的直线参数  $\rho$ 、 $\theta$  以及直线的特性(比如直线的端点);

算法的性能分析:

(1)较强的鲁棒性:保留 Hough 变换检测直线受噪声影响小,对直线的间隙不敏感的优点。

(2)运算速度快:①图像设置感兴趣区域 ROI,算法只对 ROI 区域的像素进行计算,大大减少了正余弦计算次数;②只对面积大于阈值的编组区域内的像素点进行 Hough 变换,既能减少计算像素数,也能去除无用特征点对 Hough 变换的影响,具有去噪效果。

### 3.3 系统的车道偏离决策方法

由于本文设计的 LDWS 主要是车辆行驶在高速公路上使用,因此本系统的启动条件是车速超过 60 km/h,维持 3 s 以上,并且不超过 120 km/h。

本系统的报警决策条件如下:

(1)检测到道路线情况:车辆逐渐靠近一条车道线,方向盘有一定角度,未打转向灯或转向灯不正确情况下,在车轮压线到整个车轮过线阶段,采取警告灯提醒方式,按照偏移方向(左、右),相应警告灯闪烁;车轮完全过线,除警告灯外,扬声器发出报警音提醒驾驶员注意行驶路线。

(2)未检测到道路线情况:图像中未检测到道路线,方向盘超过一定角度,未打转向灯或转向灯不正确情况下,采取警告灯和报警音方式提醒驾驶员注意行驶路线。

系统正常工作时,根据汽车与车道的相对位置来判断是否偏离车道线。首先,设置感兴趣区域 ROI,然后在 ROI 区域内将图像分为 3 个区域,如图 6。

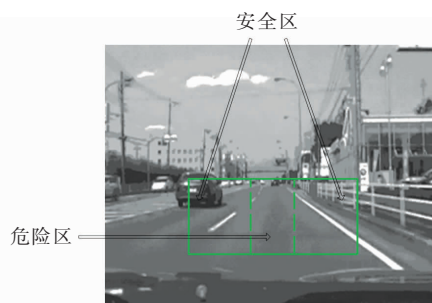


图 6 图像中设置的 ROI 区域

Fig. 6 Set ROI on the image

当在安全区域内没有检测到直线而在危险区内检测到直线,同时此时没有开启转向灯信号并且车速超过一定阈值(60 km/h)的时候,认为司机无意识车道偏离,需要发出报警;当在图像的安

全区域及危险区域同时检测到有直线存在则认为中间干扰信号, 此时将中间的干扰信号滤除, 只显示车道线; 同时存储上一帧画面的车道线位置, 当此时没有检测到车道线, 则输出上一帧车道线位置信息, 以保证实时都输出车道线。

### 4 实验结果

图 7(a)和图 7(d)是选取的  $641 \times 447$  的原图像, 分别使用标准 Hough 变换、RHT 和本算法对图进行处理, 计算使用的时间如表 1 所示。图 7(b)和图 7(e)是 RHT 处理的结果, 可以看出当高速公路上有路标或者路面有箭头干扰时, 结果不

理想; 本文算法的处理结果图 7(c)和图 7(f)表现了很好的鲁棒性。

表 1 几种算法检测单帧车道线耗费时间表 (ms)

Table 1 Time table of some arithmetics(ms)

角度分辨率/(°)	HT	RHT	本文算法
1	125	47	11
0.1	829	328	104

可以看出本文算法的速度是传统 Hough 的 3 倍, 同时, 在软件系统中进行本算法运算时对图像采取隔行进行扫描的方式, 可使时间进一步缩短。

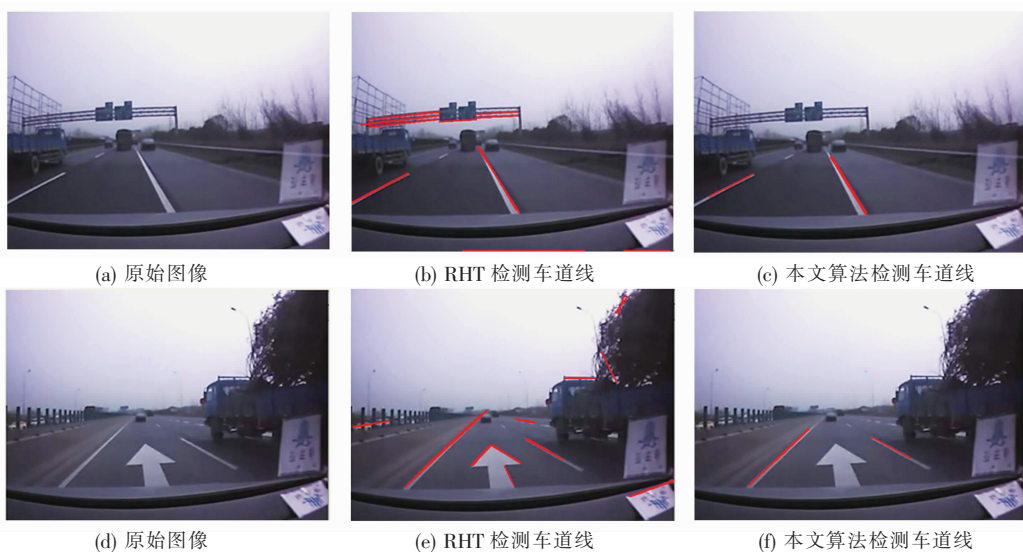


图 7 本文算法与 RHT 算法比较

Fig. 7 Comparison with RHT algorithm

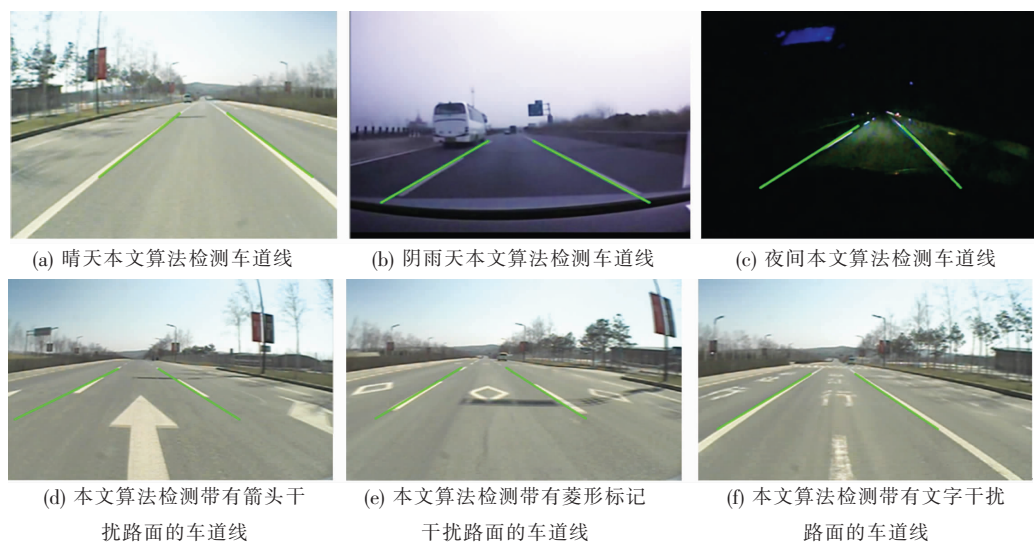


图 8 不同天气、路面存在干扰时本文算法检测车道线

Fig. 8 Results of different weather or different markers on the road

为了验证本软件系统的实用性,分别对晴天、阴雨天和夜晚不同环境条件下的视频进行了大量的试验,图 8(a)是在晴天检测车道线的结果,图 8(b)是在阴雨天检测车道线的结果,图 8(c)是在夜晚检测车道线的结果,可以看出能够很准确地提取出车道线。为了检验算法的鲁棒性,对道路中存在标记、文字干扰时的图像进行处理,图 8(d)中路面存在箭头干扰,图 8(e)中路面存在菱形干扰,图 8(f)中路面存在文字干扰,可见,利用本文算法依旧能正确识别车道线。

使用 CCS 将算法移植到 TMS320DM642 中,对代码进行调试和优化,并对系统进行测试。分别在晴天、阴雨天和夜晚,测试当车道满足条件发生偏离时系统的工作情况,图 9(a)是晴天条件下、图 9(b)是阴雨天条件下、图 9(c)是夜晚条件下系统处理的报警结果。

据 Daimler Benz 的调查显示,如果能够提前 0.5 s 发出警报能防止 60% 的碰撞事故,提前 1.5 s 能防止 90%,而本系统提前 2.5 s 对道路偏离进行报警,因此,系统是可靠的。

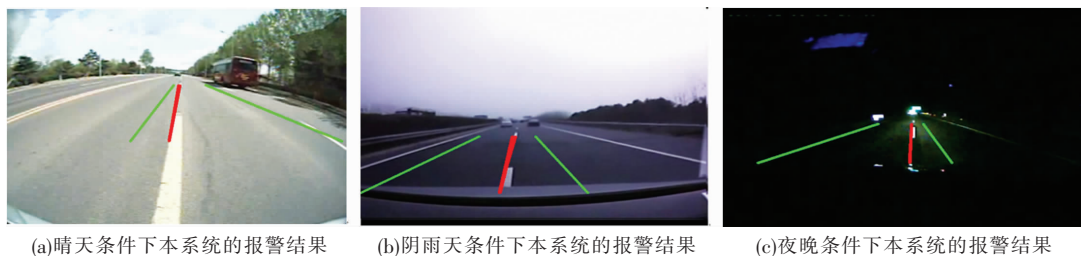


图 9 不同天气条件下系统的预警结果

Fig.9 LDWS's warning results in different weather

## 5 结 论

基于相位编组的 Hough 变换算法大大提升了 Hough 变换效率,缩短了计算时间,使用本文设计的基于 DM642 的车道偏离预警系统可以实现实时、非接触的可视化地提醒驾驶员车道偏离,预防车祸的发生,在不同的高速路况和环境下稳定可靠。同时,本文只使用一个摄像机获取路况,降低了系统的复杂性和成本,预警决策条件的提

出使系统只在驾驶员非意识情况下予以报警,消除了对驾驶员正常驾驶时的不必要干扰,达到了智能化的需求。目前,本系统使用范围是在高速公路车道线完整的情况下,因此,当在恶劣天气,比如大雪、大雾等天气,以及夜晚低照度以及严重眩光等摄像机无法识别车道线时,系统的正常工作将受到限制。这就要求提高采集到的图像的质量,车道线不完整时能够对车道线的位置进行预测,这将是未来工作的方向。

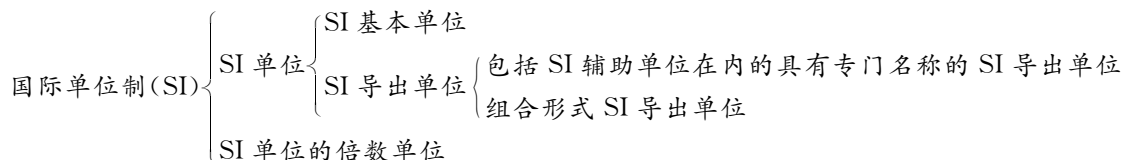
## 参 考 文 献:

- [1] 袁庆辉. 基于 TMS320DM642 的车道偏离预警系统设计 [J]. 制造业自动化, 2010, 32(5): 70-72.
- [2] 董因平. 高速汽车车道偏离预警系统的算法研究 [D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2004.
- [3] 邓剑文. 高速公路自动驾驶汽车道路检测技术研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2004.
- [4] 吴沫. 基于计算机视觉的车道偏离告警系统方法研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2005.
- [5] 赵佳佳. 道路光照模式分类器设计 [D]. 长春: 吉林大学交通学院, 2007.
- [6] 郭小川. 一个基于视觉的车道偏离预警系统的设计与实现 [D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [7] 圣华. 车道线检测在车道偏离预警系统中的应用研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [8] 冉峰, 杨辉, 黄舒平. 面阵 CCD 彩色视频图像实时采集系统的设计 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(1): 273-280.
- [9] 赵有灵, 吴文娟, 高政, 等. 基于 TMS320DM643 的驾驶疲劳实时视觉检测系统 [J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 76-78.
- [10] 左飞, 万晋森, 刘航. Visual C++ 数字图像处理开发入门与编程实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [11] Lingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transforms [J]. CVGIP, 1988, (44): 87-116.

- [12] Lee Daeho, Park Youngtae. Discrete Hough transform using line segment representation for line detection [J]. *Optical Engineering*, 2011,50(8):0877004(1-4).
- [13] Fernandes Leandro A F, Oliveira Manuel M. Real-time detection through an improved Hough transform voting scheme [J]. *Pattern Recognition*, 2008,(41):299-314.
- [14] 张小建,徐慧. 基于视频处理的运动车辆检测算法的研究 [J]. *液晶与显示*, 2012,27(1):108-112.
- [15] 赵小川,罗庆生,陈少波. 改进型图像中的直线快速检测 [J]. *光学精密工程*, 2010,18(7):1654-1660.
- [16] 董月芳,张云峰,刘扬,等. 基于相位编组的 Hough 变换提取海天线算法 [J]. *液晶与显示*, 2010,25(6):902-905.
- [17] 袁广林,薛模根,李从利,等. 基于相位编组图像分块的快速 Hough 变换直线检测 [J]. *计算机测量与控制*, 2005,13(7):647-649.
- [18] 唐德瑾,周晓明,赵国青,等. 改进相位编组直线算法提取遥感图像中的机场目标 [J]. *影像技术*, 2011,(1):39-43.

## 国际单位制(SI)

在科技期刊和科技论文中,要求物理量和单位使用国际单位制(SI)和法定计量单位。国际单位制的构成是:



## 公差表示法

1. 参量与其公差的单位相同时,单位可以只写1次。例如:“12.5 mm±0.2 mm”可写为“(12.5±0.2)mm”,但不得写作“12.5±0.2 mm”。公差用百分数表示时,例如:“λ=550 nm±2 %”这种表示是错误的,应为“λ=550×(1±0.02)nm”。

2. 参量的上、下公差相等但单位不同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10<sup>+0.1</sup><sub>-0.2</sub>g;当参量与公差的单位不同时要分别写出,例:30 cm<sup>+5</sup><sub>-3</sub> mm。

3. 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18<sup>+0.200</sup><sub>-0.255</sub> mg。

4. 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273<sub>0</sub><sup>+1</sup> K。

5. 表示2个绝对值相等、公差相同的量值范围时,范围号不能省略。例如:(-7.0±0.5)~(7.0±0.5)℃。

6. 表示带百分数公差的中心值时,百分号只需写1次,且“%”前的中心值与公差应用括号括起来。例如:(65±0.5)%。