

文章编号:1007-2780(2013)04-0561-06

基于视觉的触控系统标定方法

田 丰,汪 浩,夏 雪

(上海大学 影视艺术技术学院影视工程系, 上海 200072, E-mail ouman@shu.edu.cn)

摘 要: 通过介绍基于视觉的大屏幕定位方法,解释了视觉触控的实现原理,搭建了大屏幕触控系统。为了满足视觉触控定位精度的要求,提出了对角线全屏分段标定方法,并对标定点进行拟合计算,完成了视觉多点触控系统的定位。实验证明,在准确触控标定点的条件下,基于视觉的大屏幕触控系统能够在距离屏幕上檐 2 cm 以外实现 3 个像素内的准确定位,在距离屏幕上檐 2 cm 以内实现 10 个像素内的定位。

关 键 词: 视觉触控;标定;拟合;定位精度

中图分类号: TN911.74

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132804.0561

Calibration Method for Vision-Based Touch System

TIAN Feng, WANG Hao, XIA Xue

(Institute of Film & TV Arts and Technology, Shanghai University, Shanghai 200072, China, E-mail: ouman@shu.edu.cn)

Abstract: By introducing the big screen positioning method based on visual touch, the visual touch principle is expounded and large screen touch system is built. In order to meet the requirements of accurate positioning, the full screen diagonal segmented calibration method is proposed and calibration points are fitted, the positioning for optical multi-touch system is achieved. The experiments demonstrated that in conditions of touching calibration points accurately, the vision-based big screen touch system is able to achieve accurate positioning within 3 pixels when the area is 2 cm away from the up edge of the screen. Positioning can be reached within 10 pixels when the area is within 2 cm from the up edge of the screen.

Key words: visual touch; calibration; fitting; positioning accuracy

1 引 言

人机交互技术是通过计算机的输入、输出设备来实现人与计算机的交互,用户通过键盘鼠标等传统的交互设备与计算机实现通信^[1]。多点触控技术是人机交互技术中的一项关键技术,即在一个触摸应用界面上,通过人的手指触点、手势与外在物理物体接触而达到直接人机交互的目的^[2]。交互桌面在军事、教育、娱乐、协同设计等领域有着广泛的应用前景。多点触摸技术改变了人和信息

之间的交互方式,实现多点、多用户、同一时间直接与虚拟环境进行交互,增强了用户体验^[3]。

未来超大屏幕的多点触控系统会保持 20% 以上的符合增长率,超大屏幕触控系统市场是一个新的增长点。2007 年触控市场取得突破性进展,苹果公司推出基于电容触控屏幕的 iphone 手机,多点触控设备得到广泛应用。目前手机、平板电脑、60.88 cm(24 in)以内液晶屏等数码产品大多采用的都是电容屏或电阻屏^[4-5],基于电容的触控屏幕无法用于大尺寸屏幕。同样在 2007 年,微

收稿日期: 2013-02-19; 修订日期: 2013-06-24

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(No. 12YZ008); 上海大学创新基金(No. sdcx2012045)

作者简介: 田丰(1976—),男,上海人,博士,讲师,研究方向为人机交互、立体显示。

软公司开发了基于漫散射照明技术的智能触控桌面 Microsoft Surface^[6],但它只能应用在背投屏幕上。目前红外对管技术是大屏幕触控系统的成熟方案^[7],但由于其红外管数量众多,随着屏幕面积的增大,其制造成本增加且整体可靠性下降。由于视觉测量系统结构简单、成本低廉,已成为各领域物理定位与测量的主要方法^[8-9]。近几年出现了基于视觉的触控系统,由于其制造成本不受屏幕尺寸的影响,且其物理分辨率大大高于红外对管的探测分辨率,大有全面取代红外对管技术的趋势。

针对不同的视觉系统,各种标定方法被提出^[10-13]。精确定位是触控系统的最基本要求。与红外对管的物理分布不同,视觉触控系统依靠图像进行位置标定,其定位精度易受到产品安装精度的影响,且广角镜头的边缘变形大,物理分辨率低。在无法提高安装精度和产品结构一致性的条件下,如何对视觉触控系统进行准确标定,实现与红外对管相近的定位精度是近来对设计团队提出的严格要求。

2 视觉触控系统标定

2.1 红外对管触控系统原理

红外对管技术通常应用于超过 60.88 cm(24 in)的显示屏幕。它也是目前液晶大屏幕触控系统所使用的主流技术。红外对管多点触控技术的原理是在显示屏四周放置红外接收和发射对管,组成水平和垂直方向的扫描网格,构成一个扫描平面网,当有阻挡红外光的触控物体阻挡网格中的某对水平和垂直红外扫描线时,可以通过被阻挡的水平和垂直方向的红外线位置确定 X,Y 坐标,实现坐标的定位。图 1 为红外对管触控技术原理图。

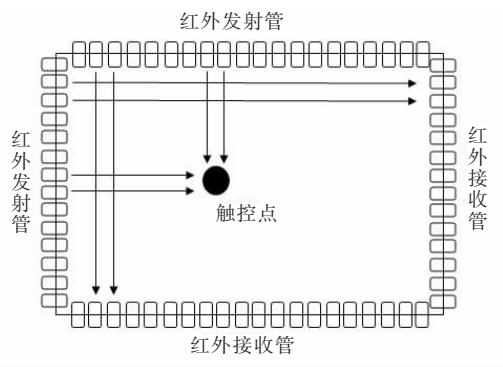


图 1 红外对管触控技术原理

Fig. 1 Principle of infrared LED multi-touch

红外对管多点触控技术触控定位方式简单、操作简便,目前已比较成熟,但由于红外线 LED 体积的限制,物理精度较低,并且容易受到较强红外光的影响。数百个红外发射管与接受管组成阵列,部件与安装成本都较高,且易发生红外 LED 损坏现象。

2.2 视觉触控系统原理

由于视觉触控系统仅仅需要两个 CMOS 传感器和对应的处理器,故相比红外对管系统的硬件成本有大幅度降低,且器件少,系统可靠度相应大幅提高。为推广低成本视觉触控系统,进一步提高其定位精度是关键问题之一。

在一台 177.8 cm(70 in)液晶显示器上方左右两侧分别安装 CMOS 传感器 3 和红外 LED 发射阵列 1。将红外反射光带 2 贴于显示屏幕左、右和下边框。红外 LED 发射阵列 1 发送红外光,红外光线入射到屏幕边缘的反射光带 2 后沿原路径返回,CMOS 传感器 3 接收返回的红外光线。当触控物体 4 进入红外光场时会产生遮挡效应,这些遮挡导致部分光线不能正常反射,从而在 CMOS 传感器 3 获得的图像上出现了触控物的阴影,通过捕捉触控物体的在图像上的阴影位置来确定其在屏幕上的位置。在已知 CMOS 传感器 3 的物理位置的基础上,利用三角定位算法计算触控物体 4 的实际物理位置,即由触控物体 4 的图像坐标转换为物理坐标和电子屏幕 5 的像素坐标。左传感器的 LED 发射红外光线经回归反射后由 CMOS 接收的整个过程。当指尖进入红外光场时会产生遮挡效应,这些遮挡导致部分光线不能正常反射,从而在 CMOS 获得的图像上出现触控物的阴影和形状。右传感器的探测过程与此类似,左传感器利用了底部和右侧反光获得回

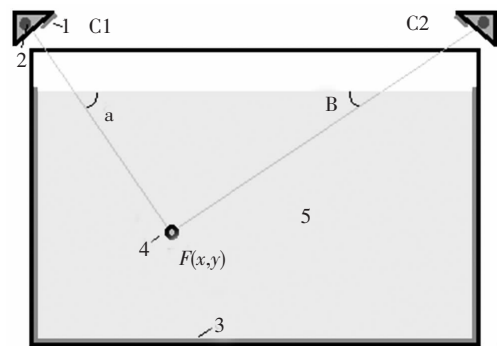


图 2 视觉多点触控技术原理

Fig. 2 Principle of visual multi-touch

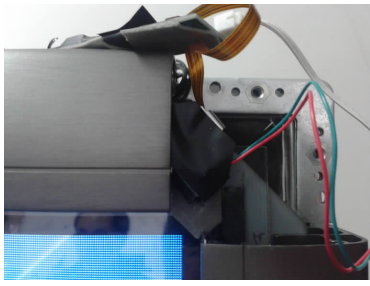


图 3 视觉传感器及其结构

Fig. 3 Visual sensor and its structure

归光线完成探测,右传感器通过左侧和底部反光获得回归光线完成探测。通过识别触控物体 4 的图像位置计算其实际物理位置。图 2、3 分别示出视觉触控技术原理和设计的结构。

2.3 对角线全屏分段标定

在记录每个标定点阴影位置的数据和标定点与屏幕上方角度后,利用最小二乘曲线拟合法进行数据拟合,传感器读到的阴影位置数据范围是从 0~639,因此拟合后最终需要生成 640 个角度数据。全屏标定流程如图 4 所示。

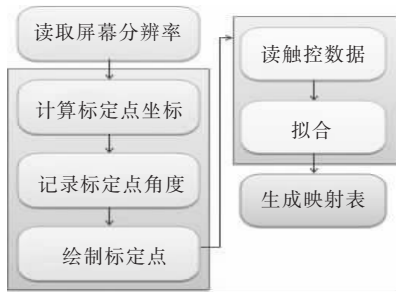


图 4 全屏标定流程图

Fig. 4 Flow chart of full screen calibration

拟合采用最小二乘多项式曲线拟合方法,给定一组测量数据 $(x_i, y_i), i=0, 1, 2, \dots, m$, 基于最小二乘原理,求得变量 x 和 y 之间的函数关系 $f(x, A)$, 使它能最佳逼近已知数据,其中 $A=(a_0, a_1, \dots, a_n)$ 是待定参数。最小二乘拟合方法是选择参数 A 使拟合模型与实际观测值在各点残差 $e_k = y_k - f(x_k, A)$

的加权平方和最小,即 $f(x)$ 满足式(1)。

$$\sum_{i=0}^m \omega(x_i) (f(x_i) - y_i)^2 = \min \sum_{i=0}^m \omega(x_i) (f(x_i) - y_i)^2 \quad (1)$$

其中 $\omega(x_i) \geq 0$ 为权,反映数据 (x_i, y_i) 在实验中所占数据的比重。

实验中对左右 CMOS 传感器获取的光带图像分别进行标定,以对角线形式排列标定点,如图 5 所示。

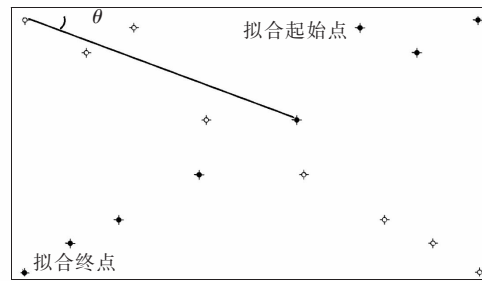


图 5 16 个标定点分布图

Fig. 5 Map of 16 calibration points

实心标定点用于标定左侧传感器,空心标定点用于标定右侧传感器。拟合变量为 $(x_i, y_i), i=0, 1, 2, \dots, m$, 其中 x 变量表示标定点在光带上的位置, y 变量表示标定点与所对应 CMOS 传感器的角度值 θ 。拟合模型为 $f(x, A) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$, 其中 (a_0, a_1, \dots, a_n) 为各项系数,根据式(1),假设各点数据的权 $\omega(x_i)$ 都为 1,则使得

$$\varphi(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=0}^m e_i^2 = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + \dots + a_nx_i^n - y_i)^2 \quad (2)$$

的系数 (a_0, a_1, \dots, a_n) 为最小值,则:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=0}^m x_i^j (a_0 + a_1x_i + \dots + a_nx_i^n - y_i) = 0 \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^m (a_0x_i^j + a_1x_i^{1+j} + \dots + a_nx_i^{n+j}) = \sum_{i=0}^m x_i^j y_i \quad (4)$$

可得式(5)。

$$\begin{bmatrix} m+1 & \sum_{i=0}^m x_i & \dots & \sum_{i=0}^m x_i^n \\ \sum_{i=0}^m x_i & \sum_{i=0}^m x_i^2 & \dots & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} & \dots & \sum_{i=0}^m x_i^{2n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m y_i \\ \sum_{i=0}^m x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{令 } X = \begin{bmatrix} m+1 & \sum_{i=0}^m x_i & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^n \\ \sum_{i=0}^m x_i & \sum_{i=0}^m x_i^2 & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{2n} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m y_i \\ \sum_{i=0}^m x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n y_i \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

则式(6)为:

$$XA = Y \Rightarrow A = X^{-1}Y \quad (7)$$

即:

$$A = \begin{bmatrix} m+1 & \sum_{i=0}^m x_i & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^n \\ \sum_{i=0}^m x_i & \sum_{i=0}^m x_i^2 & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{2n} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m y_i \\ \sum_{i=0}^m x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n y_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

表 1 为实验单台样机左右传感器拟合前的数据。Left_x 为左侧各标定点上触控位置,Left_y 为左侧各标定定点与左侧摄像头光心位置连线和水平线的夹角弧度。Right_x 为右侧各标定点上触控位置,Right_y 为右侧各标定定点与右侧摄像头光心位置连线和水平线的夹角弧度。

由于所测标定数据具有单调性并且近似线性分布,最小二乘多项式拟合方程的次数需要同时满足拟合过程的快速和准确性,图 6 表示选取不同拟合方程次数(分别为: $n=1, n=2, n=3, n=4$)的方程所拟合出曲线的效果(以左侧各标定数据为例)。

表 1 左右传感器标定中的拟合数据

Table 1 Data of left and right CMOS for fitting

Left_x	Right_x	Left_y	Right_y
96	77	0.02	0.02
102	84	0.04	0.04
125	106	0.11	0.11
220	200	0.38	0.38
356	335	0.75	0.75
495	474	1.15	1.15
567	548	1.37	1.37
622	606	1.57	1.57

其中 SSE(Sum of Squares for Error)表示误差项平方和,它反映每个样本各观测值的离散状况,SSE 越接近 0 表示拟合曲线拟合效果越好;R-square 为方程的确定系数,值在 0~1,越接近 1,表明方程的变量对 y 的解释能力越强;RMSE (root-mean-square error)表示均方根误差,用来衡量观测值同真值之间的偏差,RMSE 越接近 0,表示拟合曲线越接近真实控制点。

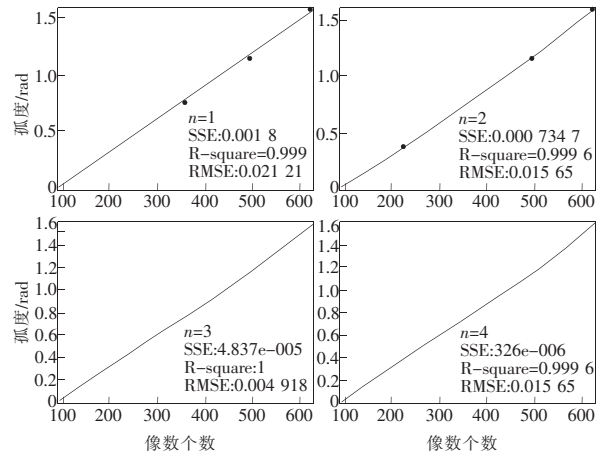


图 6 不同阶次方程拟合曲线效果

Fig. 6 Fitting curve of equations of different orders

由拟合结果可知,从 $n=3$ 开始,R-square 为 1,方程对 y 的解释能力达到最大,也就是说 $f(x, A)$ 已经可以非常接近地表示 x 与 y 的关系,因此 3 次拟合方程是最优选项。根据上述拟合方法,对左右两侧所需拟合数据分别进行最小二乘法多项式拟合,拟合曲线如图 7 所示。

每组共有 8 个标定数据,由于屏幕上檐的传感器图像分辨率低,故标定数据密集。如果屏幕上檐标定数据也进入拟合,拟合曲线将产生较大弯曲,影响屏幕整体定位。故把 2~8 标定数据作为拟合点,第 1~2 点进行线性插值。

线性插值和拟合插值后建立触控点图像坐标

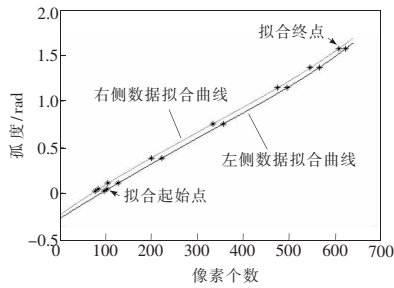


图 7 左右两侧数据拟合曲线

Fig. 7 Fitting curve of data on left and right sides

与角度弧度的映射表。每个触控点在光带上阴影位置都存在惟一夹角,按映射表获取触控点对应的夹角弧度。通过两组映射表对应的夹角弧度计算触控点的物理坐标。

3 结果与讨论

图 8 展示了 177.8 cm(70 in)视觉触控样机的标定过程。

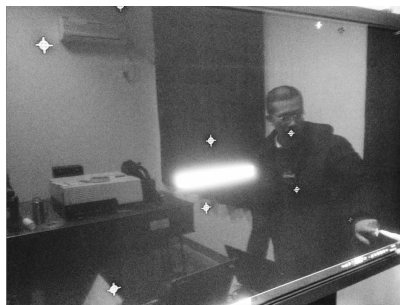


图 8 触控系统标定过程与定位精度测试

Fig. 8 Touch system calibration process and positioning accuracy test

如图 9 所示,系统实现了屏幕上檐 2 cm 范围内 10 个像素、其余位置 3 个像素的定位精度。

在系统长时间运行时(约 5 h)仍可能出现定位偏移的缺陷。这是由于液晶屏幕长时间开启将产生热量,安装在墙体内部的屏幕温度可能从冷却

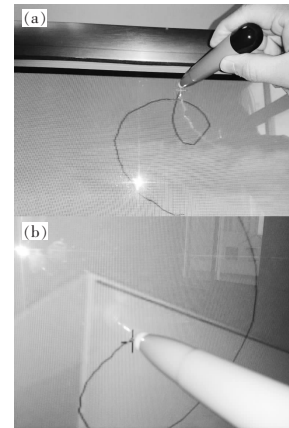


图 9 (a) 屏幕上檐 10 个像素以内的定位精度;(b) 其余屏幕 3 个像素的定位精度.

Fig. 9 (a) Positioning accuracy within 10 pixels on screen up edge;(b) Positioning accuracy within 3 pixels on the remaining part of the screen.

时的 10℃ 上升到 40℃。剧烈的温度变化将使 CMOS 传感器依托的机械结构发生变形(镜头 Z 轴翻转),致使定位偏移。通过对整个 CMOS 传感器和镜头的全图像标定,可能解决定位精度随温度漂移的问题。根据计算图像中光带的图像位置和斜率,估计 CMOS 传感器 Z 轴翻转角度,从全图像标定点中选取对应的标定参数拟合。在无需人为干预的条件下完成全自动定位将是未来视觉触控系统的发展趋势。

4 结 论

随着大屏幕液晶屏幕成本的快速下降,市场对触控产品的造价也提出了严格要求。为了满足视觉触控系统对触控点定位的要求,本文提出了一种对角线全屏分段标定方法,实现了屏幕的精确定位。随着交互技术的不断改进,视觉触控系统将带来全新的信息交互方式,我们正继续完善视觉触控系统的产品功能,提升其商业应用价值。

参 考 文 献:

[1] 百度百科. 人机交互 [EB/OL]. [2010-1-1]. <http://baike.baidu.com/view/523297.htm>.
 [2] 刘佳升,张凤军,谭国富. MTBuilder:一个多触点交互桌面界面工具 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(10): 1649-1655.
 [3] 迟健男,王志良,谢秀贞. 多点触摸人机交互技术综述 [J]. 智能系统学报, 2011, 6(1): 28-37.
 [4] 李兵兵,黄子强. 电容式多点触摸屏的器件设计及算法实现 [J]. 液晶与显示,2011, 26(2): 216-219.

- [5] 张传胜,郑寒雨,邓江东. 基于 SOPC 的通用液晶触摸屏控制器的设计 [J]. 液晶与显示,2012,27(5): 638-641.
- [6] 微软. Surface[EB/OL]. [2012-10-26]. <http://baike.baidu.com/view/974731.htm/fromId=1384037>.
- [7] 王德鑫,张茂军,熊志辉. 多重触控技术研究综述 [J]. 计算机应用研究,2009,26(7): 2404-2406.
- [8] 许允喜,蒋云良,陈方. 基于 2D-3D 双目运动估计的立体视觉定位算法 [J]. 光电工程,2011,38(9): 104-110.
- [9] 曾桂英,解源. CMOS 成像系统亚像元定位精度研究 [J]. 光电工程,2011,38(7): 69-73.
- [10] 傅瀛,王永芳,廖小懂,等. 相机标定中的角点检测和标定的接口程序设计 [J]. 电视技术,2011,35(05): 92-95.
- [11] 周子啸,赵晓林,胡峰. 基于仿真机器人的双目视觉定位 [J]. 电视技术,2010,34(8): 106-109.
- [12] 张浩,李大海,王琼华. 自由立体显示拍摄系统中摄像机空间自由度的确定 [J]. 液晶与显示,2010,25(2): 287-291.
- [13] 程明明,王贺,安平. 基于特征点匹配的多视图像校正定 [J]. 液晶与显示,2010,25(4): 593-597.

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:

$$\text{国际单位制(SI)} \left\{ \begin{array}{l} \text{SI 基本单位} \\ \text{SI 单位} \left\{ \begin{array}{l} \text{SI 导出单位} \left\{ \begin{array}{l} \text{包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位} \\ \text{组合形式 SI 导出单位} \end{array} \right. \\ \text{SI 单位的倍数单位} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

公差表示法

1. 参量与其公差单位相同时,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、下公差不相等但单位相同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10^{+0.1}_{-0.2}g;当参量与公差单位不相同时要分别写出,例:30 cm⁺⁵₋₃ mm。

3. 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18^{+0.200}_{-0.255} mg。

4. 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273₀⁺¹ 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)%。