

文章编号: 0253-2239(2007)09-1719-6

液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型*

张显斗 徐海松

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 为了提高液晶显示器(LCD)颜色特征化精度,根据液晶显示器色品恒定性和通道独立性较差的特点,提出了分段分空间模型。该模型首先用分段二次多项式拟合单通道驱动值和三刺激值的关系,然后再根据不同 RGB 子空间的特性加上适当的干扰项对液晶显示器进行颜色特征化。实验结果表明,在训练样本和检验样本数分别为 91 和 512 时分段分空间模型的 CIELAB 平均色差为 1.5881,最大色差为 6.0249;通过与三维查找表、Mask、S-Curve 及 TPC 模型比较研究,验证了当训练样本数不多时分段分空间模型的颜色预测精度最高。

关键词: 色度学; 颜色特征化; 分段分空间模型; 液晶显示器; 色品恒定性; 通道独立性

中图分类号: O432.3 文献标识码: A

Piecewise Partition Model for Accurate Colorimetric Characterization of Liquid Crystal Displays

Zhang Xiandou Xu Haisong

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract: In order to improve the accuracy of colorimetric characterization of liquid crystal display (LCD), a piecewise partition model (PP model) was proposed concerning the LCDs poor performance of constant channel chromaticity and channel independence. The model involved two steps, first the relationship between the tristimulus values and their corresponding discrete integer values of individual color channel was regressed by using of piecewise quadratic polynomial, and then the proper interferential items were inserted according to different RGB subspaces' color characteristics for colorimetric characterization of LCD. The experimental results showed that the average/maximum color differences of this PP model were 1.5881/6.0249 CIELAB unit when the numbers of training and testing samples were 91 and 512 respectively. Compared with the methods of three-dimensional look-up table (3D-LUT), Mask, S-curve and two-primary crosstalk (TPC) models, the PP model performed best for the case of less training samples.

Key words: colorimetry; colorimetric characterization; piecewise partition (PP) model; liquid crystal display (LCD); constant channel chromaticity; channel independence

1 引言

液晶显示器(LCD)在功耗、亮度和体积等方面明显优于传统的阴极射线管(CRT)显示器,并得到越来越广泛的应用,因此对液晶显示器的颜色特征化研究十分迫切和重要。经典 CRT 显示器的颜色特征化模型对色品恒定性和通道独立性要求均比较高,所以一般不适于液晶显示器的颜色特征化应用。鉴于此,本文提出了一种针对液晶显示器的颜色特征化新模型

即分段分空间模型(PP Model, Piecewise Partition Model),其算法简单且精度较高。

2 影响液晶显示器颜色特征化的两个主要因素

色品恒定性和通道独立性是大多数显示器颜色特征化模型最重要的两个假设条件^[1~3],发展成熟的阴极射线管显示器一般能满足这两个条件,但对

* 国家自然科学基金(60578011)资助项目。

作者简介: 张显斗(1981-),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事颜色科学、图像技术等方面的研究。

E-mail: xiandouzhang@126.com

导师简介: 徐海松(1966-),男,江苏吴江人,教授、博士生导师,主要从事颜色与影像科学、光度学、色度学、光辐射测量技术等方面的教学与研究工作。E-mail: chsxu@zju.edu.cn

收稿日期: 2006-11-22; 收到修改稿日期: 2007-02-27

大部分液晶显示器而言,必须重新考虑这两个因素对颜色特征化的影响。

2.1 色品恒定性

色品恒定性是指在单通道作用下,所得到的三刺激值只与该通道的驱动值有关,且色品坐标恒定不变。测试实验表明,大部分液晶显示器的色品坐标都随着驱动值的变化而变化,如图 1 为本文实验中采用的 Neso 液晶显示器各通道色品坐标随驱动值的变化曲线,可见其三色通道的色品坐标 x 、 y 和 z 在驱动值小于 64 时波动很大,在大于 64 而小于 128 时稍有波动,只当驱动值大于 128 时才基本保持不变。因此,在建立显示器颜色特征化新模型时,必须考虑不同驱动值区间色品恒定性对模型的影响。

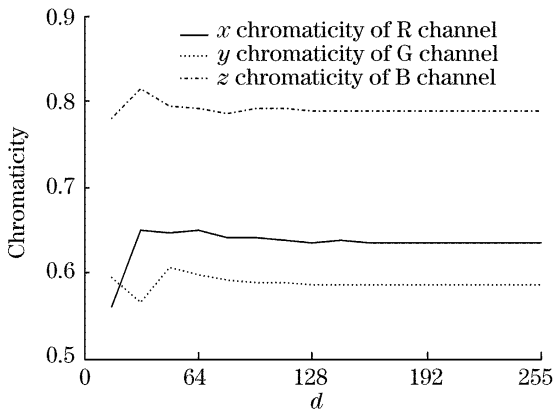


图 1 液晶显示器三色通道色品坐标随驱动值(d)的变化
Fig. 1 Tricolor channel chromaticity varies with the driving values (d) of LCD

2.2 通道独立性

通道独立性是指三色通道同时作用下的三刺激值等于三个通道分别单独作用时三刺激值之和。实际测试表明大部分液晶显示器通道间都存在干扰,如图 2 即为 Neso 液晶显示器 R 通道受 G、B 通道的干扰关系曲线,图 2 中横坐标 r 为 R 通道的驱动值,

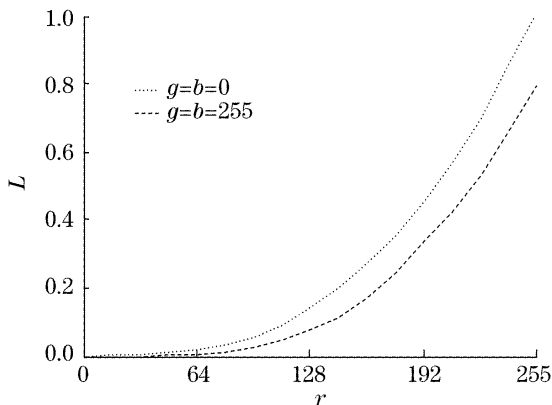


图 2 G、B 通道对 R 通道阶调再现曲线(TRC)的影响
Fig. 2 Deviation of R channel tune reproductive curve caused by G and B channel interaction

纵坐标 L 为归一化亮度,虚线和实线分别为 G、B 通道驱动值为 0 和 255 时 R 通道的阶调再现曲线(TRC)。可见,R 通道的驱动值越高,G、B 通道对其干扰越强烈。因此,在建立液晶显示器特征化新模型时,若某个通道的驱动值比较高,则必须考虑其它通道对其的干扰。

3 分段分空间模型

如果显示器能满足色品恒定性和通道独立性,则可以简单地用两阶段模型来进行颜色特征化^[4],如适于 CRT 显示器的假设色品恒定的分段线性插值(PLCC)^[5]、增益-偏置-伽玛(GOG)^[6]等模型以及适于液晶显示器的 S 曲线(S-Curve)^[7]、S 形函数(S-Shape)^[4]等模型。然而,大多数液晶显示器不能很好地满足色品恒定性和通道独立性条件,故应采用一阶段颜色特征化模型,如双通道干扰(TPC)^[8]、掩模(Mask)^[9]、三维查找表(3D-LUT)^[10]和神经网络^[11,12]等模型。本文提出的分段分空间模型也为一阶段颜色特征化模型,其算法简单,精度较高。

多项式模型经常用于显示器的颜色特征化,Senfar Wen 通过分析显示器通道间的干扰特性,发现仅用多项式模型中两通道间驱动值的乘积就能很准确地表示此特性,从而建立了 TPC 模型^[8]。分段分空间模型也是多项式模型的一种改进,首先根据单通道的色品特性,将单通道的驱动值分成三段,每段三刺激值与驱动值的关系分别用二次多项式拟合;然后根据通道间的干扰特性,在三通道刺激值相加的基础上插入适当的干扰因子(类似于多项式和 TPC 模型,用通道间驱动值的乘积表示通道间的干扰)。分段分空间模型的具体特征化方法如下:

1) 根据显示器的色品恒定性把单通道的驱动值分为三段,每一段的三刺激值直接用二次多项式拟合,如以 R 通道为例,其三刺激值模型可以表述为

$$\begin{cases} T_{ri} = a_{1i} + b_{1i} \times d_r + c_{1i} \times d_r^2, \\ r \leq M \\ T_{ri} = a_{2i} + b_{2i} \times d_r + c_{2i} \times d_r^2, \\ M < r \leq N \\ T_{ri} = a_{3i} + b_{3i} \times d_r + c_{3i} \times d_r^2, \\ r > N \\ (i \text{ is } x, y \text{ and } z) \end{cases} \quad (1)$$

式中 r 为 R 通道的驱动值, d_r 为 r 对应的归一化驱动值, T_{ri} 为三刺激值, a_{ji} , b_{ji} , c_{ji} ($j = 1, 2, 3$) 为常量, M 、 N 分别为三色通道驱动值的低中分界点和中高

分界点,根据显示器的色品恒定和通道独立特性确定。对于 G、B 通道可作同样处理。

2) 通过每个通道 M 、 N 两个分界点将整个 RGB 空间分为 27 个子空间,并根据通道间的干扰特性,再将这 27 个子空间分为 3 类:

i) 三个通道的驱动值中最多只有一个大于 M ,共 7 个子空间;

ii) 三个通道的驱动值中有两个大于 M ,共 12 个子空间;

iii) 三个通道的驱动值都大于 M ,共 8 个子空间。

对于第一类子空间,不考虑通道间的干扰,三个通道的三刺激值直接相加即得混合色的三刺激值。

对于第二类子空间,只考虑驱动值大于 M 的两个通道间的干扰,例如当混合色三个通道的驱动值位于 12 个子空间中的子空间时 $M < r, g \leq N, b < M$,其三刺激值可以表示为

$$T_i = T_{ri} + T_{gi} + T_{bi} + d_i + e_i \times d_r \times d_g, \quad (2)$$

其中后面两项为干扰项, d_i 和 e_i 为常数,可通过该子空间的训练样本来拟合确定。其它子空间也作同样处理。

对于第三类子空间,同时考虑两个通道间和三个通道间的干扰,例如当混合色三个通道的驱动值位于 8 个子空间中的 $M < r, g, b \leq N$ 子空间时,其三刺激值可以表示为

$$T_i = T_{ri} + T_{gi} + T_{bi} + d_i + e_i \times d_r \times d_g + f_i \times d_g \times d_b + h_i \times d_r \times d_b + k_i \times r \times d_g \times d_b, \quad (3)$$

其中后面五项为干扰项, d_i 、 e_i 、 f_i 、 h_i 和 k_i 为常数,可通过该子空间的训练样本拟合确定。其它子空间也作同样处理。

通过分段分空间的划分,有效地减弱了色品不恒定和通道不独立对颜色特征化带来的影响,从而提高颜色特征化模型的精度。

4 实验装置及数据采集

4.1 实验器材

按照 IEC 标准^[13],实验在暗室中进行,并在实验前对液晶显示器和测量仪器预热 2 h。实验器材为:

1) 液晶显示器:Neso LD500,刷新频率 60 Hz,分辨率 1024 pixel×768 pixel,颜色显示为 24 位真彩色。

2) 显卡:VIA Tech VT8361,显存数字化位数 $N=8$ 。

3) 测量仪器:Photo Research 公司的光谱辐射计 PR-650。

4.2 实验数据采集

首先对液晶显示器的色品恒定性和通道独立性进行测试,并由此确定分段分空间模型的 M 、 N 分别取值为 64 和 128。

分段分空间模型需要采集的实验数据包括训练样本和检验样本,其中训练样本包括如下三个数据集。

第一个数据集为: $(r, g, b) = (I_i, 0, 0), (r, g, b) = (0, I_i, 0), (r, g, b) = (0, 0, I_i)$,其中 I_i 为 0、16、32、48、64、80、96、112、128、160、192、224 和 255。三个通道共有 $13 \times 3 - 2 = 37$ 个样本(三个通道的黑点样本共享),其中 0、16、32、48 和 64 组成的样本集合用于式(1)中低段驱动值区间二次多项式的数据拟合,64、80、96、112、128 和 128、160、192、224、255 分别用于中段和高段驱动值二次多项式的数据拟合,使(1)式中每一分段函数均有 5 个训练样本。

第二个数据集为: $(r, g, b) = (J_i, K_j, 32), (r, g, b) = (J_i, 32, K_j), (r, g, b) = (32, J_i, K_j)$,其中 J_i 、 K_j 为 64、128 和 255。三个通道共有 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个样本组合,用于第二类子空间干扰项的数据拟合,使每一子空间均有 4 个训练样本。

第三个数据集为: $(r, g, b) = (M_i, M_j, M_k)$,其中 M_i 、 M_j 和 M_k 为 64、128 和 255。三个通道共有 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个样本组合,用于第三类子空间干扰项的数据拟合,使每一子空间均有 8 个训练样本。

分段分空间模型的检验样本为: $(r, g, b) = (T_i, T_j, T_k)$,其中 T_i 、 T_j 和 T_k 为 0、36、72、109、145、182、218 和 255。三个通道共有 $8 \times 8 \times 8 = 512$ 个样本组合,覆盖了整个 RGB 空间。

为了与 3D-LUT、Mask、S-Curve 和 TPC 等模型作比较,实验中还按照这些模型的需要对相应的训练样本进行了测试。对于 3D-LUT 模型,每个通道的样本取值分别为 0、29、57、85、114、142、170、199、227 和 255,共 10 个节点,三通道共计 $10 \times 10 \times 10 = 1000$ 个训练样本;对于 Mask 模型,每个通道分别取 0、16、32、48、64、80、96、112、128、144、160、176、192、208、224、240 和 255,七个通道共有 $17 \times 7 = 119$ 个训练样本;对于 S-Curve 模型,每个通道的样本和 Mask 模型一样,三个通道共 $17 \times 3 = 51$ 个样本,再加上特征转换矩阵的 3 个样本,共计 $51 + 3 = 54$ 个训练样本;对于 TPC 模型,单通道训练样本和 Mask 模型(除 0 外)一样,三通道共 16×3

=48 个样本,双通道训练样本中任一通道训练样本为 36、72、109、145、182、218 和 255,故每一双通道共有 $7 \times 7 = 49$ 个样本组合,三个双通道共计 $49 \times 3 = 147$ 个训练样本,所以 TPC 模型总共有 $48 + 147 = 195$ 个训练样本。3D-LUT、Mask、S-Curve 和 TPC 模型的检验样本和分段分空间模型相同。

考虑到液晶显示器和 PR-650 稳定性对测量结果的影响,以上的每个样本都连续测量三次取平均值作为一次测量结果。

5 实验结果及讨论

黑点对各种颜色特征化模型精度均有较大影响,因此首先对所有测量数据做黑点处理^[14],然后用经过黑点处理的训练样本分别对分段分空间模型以及 3D-LUT、Mask、S-Curve 和 TPC 等模型进行颜色特征化,其中分段分空间模型的具体参量列于附录中。并通过检验样本计算各模型预测值和实际测量值之间的 CIELAB 色差。这 5 个模型对 512 个检验样本的色差分布如图 3 所示,其中横坐标表示 CIELAB 色差,纵坐标表示分布于各色差区间内检验样本点的个数(色差大于 10 的样本按照色差为 10 统计数目)。

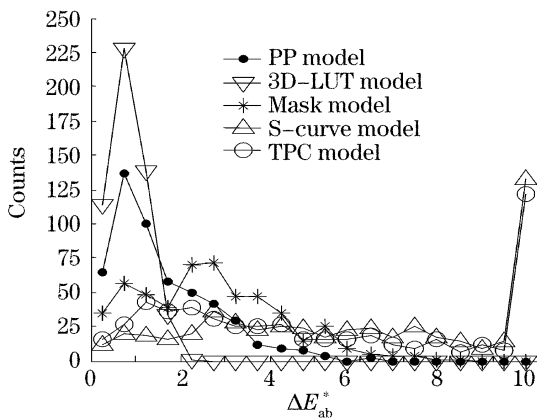


图 3 不同模型的色差分布图

Fig. 3 Color difference distribution of different models

在图 3 中,位于左边的小色差样本数越多,则该模型的颜色预测越准确。可见,预测最准确的是 3D-LUT 模型,其次为分段分空间模型,S-Curve 和 TPC 模型的颜色预测精度较低。

表 1 为不同颜色特征化模型对 512 个检验样本平均色差、最小色差和最大色差的比较,其中各模型的训练样本数标注于相应名称后的括号中。由表 1 可见,各种模型的最小色差相差较小,而平均色差和最大色差则差别较大,3D-LUT 模型的平均和最大色差都最小,其次为分段分空间模型,S-Curve 和

TPC 模型的平均和最大色差都较大。TPC 模型和分段分空间模型虽然同为多项式模型的改进,但由于 TPC 模型只考虑了显示器通道间的干扰特性,而分段分空间模型同时考虑了显示器单通道的色品特性和通道间的干扰特性,同时,TPC 模型参量反映了显示器的整体颜色特性,而分段分空间模型通过空间划分,由局部参量表示显示器的颜色特性,因此分段分空间模型的平均色差和最大色差都小于 TPC 模型。另一方面,理想的颜色特征化模型应该具有最高的颜色预测精度并需要最少的训练样本数,以利于节省时间、提高效率。由表 1 可知,S-Curve 的训练样本数最少,其次为分段分空间模型,3D-LUT 的训练样本数最多。TPC 模型的训练样本数虽然多于分段分空间模型,但模型的颜色预测精度却低于分段分空间模型。

表 1 不同颜色特征化模型对 512 个检验样本色差的比较
Table 1 Color difference comparison among different models for 512 test samples

	ΔE_{ab}^*		
	Avg.	Min.	Max.
PP(91)	1.5881	0.0373	6.0249
3D-LUT(1000)	0.8328	0.0844	2.1325
Mask(119)	2.6990	0.0699	7.2953
S-Curve(54)	6.6260	0.1420	18.5790
TPC(195)	7.7088	0.1606	33.3550

综上所述,3D-LUT 模型的预测精度最高,但所需训练样本数远远大于其它模型;S-Curve 的训练样本数最少,但其预测精度较差。因此,分段分空间模型在样本数与预测精度之间实现了最佳的优化和兼顾,即在训练样本数不多的情况下获得了最好的颜色预测精度。

6 结 论

本文基于影响显示器颜色特征化最主要的两个因素即色品恒定性和通道独立性的分析,提出了液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型。通过实验测试并与目前用于液晶显示器颜色特征化的其它主流模型进行比较,结果证明分段分空间模型在训练样本较少的条件下达到的颜色预测精度最高。

参 考 文 献

- 1 W. B. Cowan, N. Rowell. On the gun independence and phosphor constancy of colour video monitors [J]. *Col. Res. Appl.*, 1986, **11**: S34~S35
- 2 D. H. Brainard. Calibration of a computer controlled color monitor[J]. *Col. Res. Appl.*, 1989, **14**(1): 23~24

3 Liao Ningfang, Shi Junsheng, Zen Hua *et al.*. Analysis of interactive errors in conventional CRT colorimetric prediction models[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(1): 133~138 (in Chinese)
 廖宁放,石俊生,曾华等.传统阴极射线管色度预测模型的相干误差分析[J].*光学学报*, 2000, **20**(1): 133~138

4 Yong Wang, Haisong Xu. Colorimetric characterization of liquid crystal display using an improved two-stage model[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(7): 432~434

5 D. L. Post, C. S. Calhoun. An evaluation of methods for producing desired colors on CRT monitors[J]. *Col. Res. Appl.*, 1989, **14**(4): 172~173

6 R. S. Berns, R. J. Motta, M. E. Gorzynski. CRT colorimetry. Part I: Theory and practice[J]. *Col. Res. Appl.*, 1993, **18**(5): 299~314

7 Youngshin Kwak, Lindsay W. Macdonald. Accurate prediction of colours on liquid crystal displays[C]. *IS&T/SID Ninth Color Imaging Conference*, 2001. 355~359

8 S. Wen, R. Wu. Two-primary crosstalk model for characterizing liquid crystal displays[J]. *Col. Res. Appl.*, 2006, **31**(2): 102~108

9 Nobuhiko Tamura, Norimichi Tsumura, Yoichi Miyake. Masking model for accurate colorimetric characterization of LCD [J]. *J. the SID*, 2003, **11**(2): 1~7

10 Po-Chieh Hung. Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolations[J]. *J. Electronic Imaging*, 1993, **2**(1): 53~61

11 Baozhong Mu, Feihong Yu. Color space conversion of digital photofinishing by neural network[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(9): 556~558

12 Yong Wang, Haisong Xu. Spectral characterization of scanner based on PCA and BP ANN[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(12): 725~728

13 IEC 61966-4. Colour measurement and management in multimedia systems and equipment. Part 4: equipment using liquid crystal display panels[S]. *IEC*, 1997, Version 1.42: 7~8

14 R. S. Berns, S. R. Fernandez, L. Taplin. Estimating. Black-level emissions of computer-controlled displays[J]. *Col. Res. Appl.*, 2003, **28**(5): 379~383

附 录

由分段分空间模型训练样本所得的具体模型参量如表 2、表 3 和表 4 所示,分别给出了单通道分段二次多项式系数、第二类和第三类子空间通道间的干扰项系数。

表 2 分段分空间模型分段二次多项式系数

Table 2 Coefficients of the piecewise partition model's piecewise quadratic polynomial

Coefficients	X			Y			Z		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
$r < M$	0.0270	-1.7676	25.2350	0.0151	-0.8766	13.2550	0.0001	-0.0101	0.0617
R $M \leq r < N$	4.8585	-39.3500	98.8080	2.6909	-21.8740	54.8290	0.1205	-1.0694	2.4130
$r \geq N$	17.7920	-85.6730	140.5200	9.7003	-47.0340	77.5490	0.1294	-0.9833	2.2110
$g < M$	0.0223	-1.0372	16.0280	0.0374	-1.8067	32.9190	0.0034	-0.0422	5.5808
G $M \leq g < N$	2.6094	-21.3190	56.3530	5.1943	-43.3290	117.5700	1.2002	-10.5080	28.6480
$g \geq N$	6.3953	-39.3810	77.4140	12.0550	-78.5150	160.6900	1.3611	-13.6900	34.3170
$b < M$	0.0134	-0.3406	9.9715	0.0047	-0.4592	5.8802	0.0485	-1.8529	55.6010
B $M \leq b < N$	1.2984	-11.5890	34.7260	0.7129	-5.9593	16.8010	7.2761	-64.5450	191.9000
$b \geq N$	-0.5825	-12.8060	43.9300	0.3060	-7.8211	21.8410	-2.0948	-72.3490	241.0300

表 3 第二类子空间通道间的干扰项系数

Table 3 Crosstalk coefficients between channels of the second color space

Coefficients	X		Y		Z	
	e	g	e	g	e	g
$r < M; M \leq g < N; M \leq b < N$	0.2456	-5.6873	0.2314	-5.0110	1.2789	-23.9470
$r < M; M \leq g < N; b \geq N$	0.4239	-6.1018	0.3260	-4.8917	1.9290	-26.1140
$r < M; g \geq N; M \leq b < N$	0.3728	-5.6258	0.3796	-5.6980	1.9368	-21.9900
$r < M; g \geq N; b \geq N$	0.4296	-5.8371	0.3068	-5.2743	2.1283	-23.7250
$g < M; M \leq r < N; M \leq b < N$	-0.1307	-3.8839	-0.1143	-1.8511	0.6521	-16.6730
$g < M; M \leq r < N; b \geq N$	0.5210	-6.8764	0.2464	-3.4805	2.3018	-27.8420
$g < M; r \geq N; M \leq b < N$	-0.9506	-0.9450	-0.5812	-0.3871	0.9720	-13.8990
$g < M; r \geq N; b \geq N$	-0.0996	-4.0822	-0.0924	-2.0703	3.1500	-22.9890
$b < M; M \leq r < N; M \leq g < N$	0.7099	-14.4800	0.5513	-10.7940	-0.0164	-2.2384
$b < M; M \leq r < N; g \geq N$	0.7112	-10.7690	0.1344	-5.9487	-0.3491	-0.4560
$b < M; r \geq N; M \leq g < N$	1.3063	-20.5890	1.0298	-14.7940	-0.0327	-1.8434
$b < M; r \geq N; g \geq N$	0.8162	-15.7660	0.1384	-9.8189	-0.4150	-0.6708

表 4 第三类子空间通道间的干扰项系数

Table 4 Crosstalk coefficients between channels of the third color space

Coefficients $M \leq r, g, b < N$		$M \leq r, g < N$	$M \leq r, b < N$	$M \leq r < N,$	$M \leq g, b < N$	$M \leq g < N,$	$M \leq b < N,$	$r, g, b \geq N$
		$b \geq N$	$g \geq N$	$g, b \geq N$	$r \geq N$	$r, b \geq N$	$r, g \geq N$	
X	d	0.5253	1.0200	0.8410	1.4577	0.4720	1.2593	1.8753
	e	-10.0630	-7.5375	-7.6323	-6.3376	-16.4130	-11.8500	-17.4340
	f	-3.2542	-4.8908	-9.6046	-6.2168	1.7415	-2.5362	-4.9118
	h	0.4917	-2.8957	1.0599	-3.6310	3.1612	-3.9566	8.6209
	k	-11.1250	-7.8128	-9.5376	-7.5043	-14.7800	-8.6164	-11.8660
Y	d	0.3569	0.6286	0.4366	0.8568	0.3962	0.8081	0.5987
	e	-7.7565	-7.1576	-4.1339	-4.4995	-12.0430	-9.8042	-11.1310
	f	-0.6742	-1.4711	-7.6733	-3.2089	2.3985	-0.2110	-2.5964
	h	-0.3459	-2.5787	-0.4744	-3.8961	1.1985	-2.8812	7.9000
	k	-9.7887	-6.0179	-5.8159	-4.2558	-11.6050	-6.8777	-13.3880
Z	d	0.9729	3.0426	1.5330	3.2443	1.3110	4.1513	1.9356
	e	10.2650	15.9080	10.1390	19.3850	7.2890	14.5150	5.3614
	f	-12.0840	-20.0750	-18.7540	-15.6130	-11.3220	-20.4620	-15.2360
	h	-19.8010	-23.6720	-19.5860	-25.3470	-22.2350	-29.0650	-20.0390
	k	-18.2090	-14.3250	-11.5410	-24.5470	-11.9340	-7.3291	-5.7457

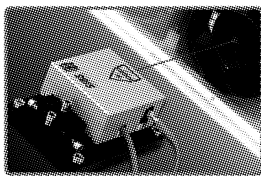
• 广告 •



天津微纳制造技术有限公司

Tianjin MicroNano Manufacturing Tech Co., Ltd.

天津微纳制造技术有限公司，2005年11月成立于天津经济技术开发区，公司将先进制造技术中前沿的光学非球面与自由曲面、脆性材料复杂曲面、超精密及微纳元器件的制造技术的研究与开发作为发展方向，以生产光学仪器、生物医疗仪器、日用及计算机外围设备中微小精密关键器件为发展目标。同时公司将引进微纳领域的海外先进仪器设备作为主要业务之一，目前是德国SIOS Messtechnik GmbH (SIOS) 和Piezosystem Jena GmbH (PSJ) 公司的中国总代理，为国内引进了SIOS公司的纳米级精度激光干涉仪和PSJ公司的纳米级压电致动与定位系统。这两类产品为微纳技术领域提供了纳米级测量与驱动的手段。



特点：1. 纳米级精度激光干涉仪；
2. 分辨率优于0.01 nm；
3. 干涉头与电器箱分离；
4. 采用氦-氖稳频激光光源。

应用：1. 超高精度长度、角度测量；
2. 构建多维工作台，应用于显微、定位、坐标测量系统及精密机床装备；
3. 振动模态分析。



特点：1. 压电陶瓷多维微纳致动系统；
2. 行程高达1500 μm；
3. 分辨率优于0.01 nm；
4. 具有高谐振频率、高稳定性、高负载能力。

应用：1. 微电子、分子生物领域显微定位系统；
2. 超精密加工领域微纳定位系统；
3. 激光加工领域光束方向精密调节系统。

地址：天津经济技术开发区第四大街
80号A2座三层 (300457)

电话：022-59813868

传真：022-59813870

E-mail: chenjinping@tju.edu.cn