

2021-05-18 发布

2021-05-20 实施

T/CSMT DZ001-2021

移动终端摄像系统光电性能 和图像质量评测方法

中国计量测试学会 发布
深圳市隆测技术有限公司参与制定

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由全国光学标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、北京易成高科科技发展有限公司、北京理工大学、清华大学、苏州市计量测试院、OPPO 广东移动通信有限公司、维沃移动通信有限公司（vivo）、小米科技有限责任公司、SGS 通标标准技术服务有限公司、深圳市隆测技术有限公司、深圳市海川实业股份有限公司、杭州远方光电信息股份有限公司。

本文件主要起草人：徐英姿、王道宁、陈赤、胡沂海、解群、黄勇、沈庆飞、黎俊、陈海雷、王培华、步海军、廖庆敏、来航曼、郑斌义、李宝红、于磊、谢丹、王毅、杨雄。

本文件为首次发布。

附录 D (规范性) 计算纹理锐度的步骤	53
D.1 步骤1：线性化	53
D.2 步骤2：亮度的计算	53
D.3 步骤3：纹理的傅立叶变换	53
D.4 步骤4：一维的FFT计算	53
D.5 步骤5：噪声补偿	53
D.6 步骤6：理想图卡功率范围归一化	54

附录 E (资料性) SIR 数据流程	55
附录 F (资料性) 逆伽马曲线线性化	56
附录 G (资料性) 横向色差的计算方法	58
G.1 横向色差的理论计算	58
G.2 从目标中提取点算法	59

附录 H (资料性) 几何畸变具体测试步骤	66
附录 I (资料性) 网格排序	67
I.1 综述	67
I.2 初始化	67
I.3 创建表格	68

附录 J (资料性) 动态范围计算的具体步骤	72
------------------------	----

目 次	
T/CSMT DZ001-2021	
前言	IV
1 引言	V
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 评测实验室技术要求	3
5.1 测试系统	3
5.1.1 静态实验	3
5.1.3 动态实验	4
5.2 图卡配置	6
5.2.1 平面性	6
5.2.2 图卡对准	6
5.2.3 常用图卡	7
5.3 照明	20
5.3.1 光源	20
5.3.2 图卡面的照明条件	21
5.4 光电性能和图像质量测试	23
6.1 拍照模式设置	23
6.2 软件版本设置	23
6.3 自动曝光	23
6.3.1 图卡选择和光照范围	23
6.3.2 测试条件与方法	24
6.3.3 判别指标和原则	24
6.4 自动白平衡	25
6.4.1 图卡和条件	25
6.4.2 数据处理和评判分析	25
6.5 自动对焦	26
6.5.1 图卡和条件	26
6.5.2 数据处理和评判分析	26
6.6 空间频率响应 (SFR) 分辨率及锐度	27
6.6.1 测试条件和方法	27
6.6.2 前置测试	27
6.6.3 图像和摄像头设置	28
6.6.4 锐度计算	28
6.7 几何畸变	29
6.7.1 测试条件和方法	29
6.7.2 测试步骤	30

移动终端摄像系统光电性能和图像质量评测方法

1 范围

本文件描述了移动终端设备的摄像系统影像质量性能参数的评测方法。

本文件主要适用于移动终端摄像系统上的从传感器到镜头直至信号处理全流程的影像的评测。

本文件涵盖的具体性能参数包括自动曝光性能、自动白平衡性能、自动对焦性能、空间频率响应(SFR)分辨率及锐度、几何畸变、横向色差、色度等级、色彩均匀性、视觉噪声、纹理模糊、防抖性能与动态范围等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- ISO 5-1 摄影-密度测量-第1部分：术语、符号和表示方法
- ISO 5-2 摄影-密度测量-第2部分：透射密度的几何条件
- ISO 5-3 摄影-密度测量-第3部分：光谱条件
- ISO 5-4 摄影-密度测量-第4部分：反射密度的几何条件
- ISO 7589 摄影-感光测定用光源-日光、白炽钨灯和打印机规格
- ISO 11664-2 色度学-第2部分：CIE 标准光源
- ISO 11664-4 色度学-第4部分：CIE1976 L^{*}a^{*}b^{*} 色彩空间
- ISO 11664-6 色度学-第6部分：CIEDE2000 色差公式
- ISO 12233 摄影-电子静态图像成像-分辨率和空间频率响应
- ISO 14524 摄影-电子静态相机-光电转换功能 (OECFs) 测量方法
- ISO 15739 摄影-数码图像成像-噪声测量
- ISO 16067-1 摄影-摄影图像用扫描仪的空间分辨率测量□ 第1部分：反射介质扫描仪
- ISO 17321-1 图形技术-摄影、数码相机 (DSC) 的颜色特性-第1部分：刺激、计量和试验程序
- ISO 17850 摄影-数码相机-几何畸变测量
- ISO 19084 摄影-数码相机-色差测量
- ISO 19567-2 摄影-数码相机-第2部分：使用随机图案的纹理分析
- ISO 21550 摄影-摄影图像用电子扫描仪 动态范围测量
- IEC 61966-2-1 多媒体系统和设备-颜色测量和管理-第2-1部分：颜色管理-默认RGB颜色空间-幅RGB
- IEEE 1858 拍照手机像质标准

3.1 锐度 acutance

一个客观的、综合的空间频率响应 (SFR) 度量指标，与主观清晰度相关。

-一幅图像短边方向的大小。

3.2 图像高度 image height

图像中细节的感知程度，表示为原始场景和再现图像之间对比度的调制关系。

(SFR) 分辨率及锐度、几何畸变、横向色差、色度等级、色彩均匀性、视觉噪声、纹理模糊、防抖性能与动态范围等。

3.3 清晰度 sharpness

一幅图像高宽比的中高空间频率的图像内容，如树叶、草和均匀彩色织物。通常，空间内容的频率大于每幅图像高度150线对，且对比度为最大对比度的40%或更小。

3.4 纹理细节 texture detail

低对比度的中高空间频率的图像内容，如树叶、草和均匀彩色织物。通常，空间内容的频率大于每幅图像高度150线对，且对比度为最大对比度的40%或更小。

4 缩略语

- 下列缩略语适用于本文件。
- | | |
|---------|--|
| CIE: | 国际照明委员会 (International Commission on Illumination) |
| CIELAB: | CIE为感知均匀性定义的颜色空间，包括 L 、 a^* 、 b^* (International Commission on Illumination L, A, B) |
| CIEXYZ: | CIE定义的XYZ颜色空间 (International Commission on Illumination X, Y, Z) |
| CMOS: | 金属氧化物半导体 (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) |
| CPD: | 循环每度 (Cycles Per Degree) |
| CPIQ: | 拍照手机图像质量 (Camera Phone Image Quality) |
| CRA: | 主光线角度 (Chief Ray Angle) |
| CSF: | 对比敏感度函数 (Contrast Sensitivity Function) |
| DPI: | 每英寸点数 (Dots Per Inch) |
| DSC: | 数码照相机 (Digital Still Camera) |
| ESF: | 边缘扩散函数 (Edge Spread Function) |
| FFT: | 快速傅立叶变换 (Fast Fourier Transform) |
| FoV: | 视场 (Field of View) |
| JND: | 临界可辨别差异 (Just Noticeable Difference) |
| LCD: | 横向色差 (Lateral Chromatic Aberration) |
| LGD: | 局部几何失真 (Local Geometric Distortion) |
| LSF: | 线扩散函数 (Line Spread Function) |
| MP: | 百万像素 (Megapixel) |
| MTF: | 调制传递函数 (Modulation Transfer Function) |
| NIR: | 近红外 (Near infrared) |
| NPS: | 噪声功率谱 (Noise Power Spectrum) |
| OECF: | 光电转换函数 (Opto-Electric Conversion Function) |
| PSD: | 功率谱密度 (Power Spectral Density) |
| RGB: | 红、绿、蓝 (Red, Green, Blue) |

3 术语和定义

上述标准已经界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 客观评价

本文件同时参考了国内外已经形成体系的很多重要单项标准，结合计量、测试部门的技术要求建立完整、规范而实用的评价体系。

- 移动终端摄像头、产业的相关企业可以依据本文件建立相应的测试实验室并遵循量值统一的标准体系实现对影像性能和质量的准确评价；移动终端制造商以及使用者可依据本文件，采用第三方评价的方法，展开自愿性服务，进行产品相关的性能和质量评价；运营商及电商等销售实体可使用本文件作为移动终端产品摄像性能和质量评估的依据。本文件同样可以作为终端企业评价器件、算法供应商的基础依据。
- 考虑到主观标准存在不同人种和文化的差异，本文件没有直接引用IEEE1858的主观评价部分，而是结合客观测试结果进行必要的主观对应性评价说明。后续新的版本会完善主观评价部分，形成主观评价体系，更好地反映消费者体验。

式中：
 D_{avg} —ROI 区域的平均密度；
 D_{min} —ROI 区域的最小密度；
 D_{max} —ROI 区域的最大密度；
 C_{mod} —ROI 区域的边缘调制对比度。

表 4 不同调制对比度和平均密度水平的最小/最大密度对选项

(D _{min} /D _{max} 组合)	调制对比度水平										
	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	
0.92	D _{max}	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36
	D _{min}	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.70
0.89	D _{max}	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.31	1.32	1.33
	D _{min}	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.67	0.67
0.85	D _{max}	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.29	1.31
	D _{min}	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64
0.82	D _{max}	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.26	1.27
	D _{min}	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61
0.80	D _{max}	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.22	1.23	1.24
	D _{min}	0.61	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58
0.77	D _{max}	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21
	D _{min}	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.55
0.74	D _{max}	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.18	1.19
	D _{min}	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53
0.72	D _{max}	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
	D _{min}	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50
0.70	D _{max}	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
	D _{min}	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48
0.68	D _{max}	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.08	1.09	1.10	1.11	1.13
	D _{min}	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46
0.66	D _{max}	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07	1.08	1.09	1.11
	D _{min}	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44
0.64	D _{max}	0.99	0.99	1.00	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09
	D _{min}	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42
0.62	D _{max}	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.08
	D _{min}	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40
0.60	D _{max}	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05
	D _{min}	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39

表 5 中进一步规定了边缘特征的最小频率。表中描述了与每个指定目标尺寸和传感器尺寸对的 80%SFR 水平相关的最小空间频率 (cy/mm)。在报告摄像头 SFR 之前，需要对该规定的 SFR 进行校正。除非另有说明，允许相对于标称位置 5% 的位置公差。

9

10

如果镜头的几何畸变需要作适当的调节，那么，除了中心方格外其它斜边正方形都应具有相同的相对倾斜度。斜可能高达 10°。这种情况下，注意活动区域内的所有斜边正方形都应具有相同的相对倾斜度。

表 5 图卡空间频率内客规范

具体尺寸	A 系列格式	24 MP	20 MP	16 MP	12 MP	10 MP	8 MP	6 MP	5 MP
2378 mm×1682 mm	4A0	1.37	1.19	1.02	0.84	0.77	0.69	0.59	0.54
1682 mm×1189 mm	2A0	1.92	1.68	1.44	1.19	1.09	0.97	0.84	0.77
1189 mm×841 mm	A0	2.71	2.37	2.03	1.68	1.54	1.37	1.19	1.09
841 mm×594 mm	A1	3.84	3.36	2.88	2.38	2.17	1.94	1.68	1.54
594 mm×420 mm	A2	5.43	4.75	4.07	3.36	3.07	2.74	2.38	2.17
420 mm×297 mm	A3	7.67	6.71	5.75	4.75	4.34	3.88	3.36	3.07
297 mm×210 mm	A4	10.85	9.49	8.13	6.71	6.13	5.48	4.74	4.33
210 mm×148 mm	A5	15.3	13.4	11.5	9.48	8.65	7.74	6.7	6.12
148 mm×105 mm	A6	21.5	18.8	16.1	13.33	12.17	10.89	9.43	8.61
105 mm×74 mm	A7	30.5	26.7	22.8	18.87	17.22	15.41	13.34	12.18
74 mm×52 mm	A8 (名片)	43.1	37.7	32.3	26.67	24.34	21.77	18.85	17.21

对于大尺寸测试点阵图，应使用斜边正方形。它们应位于活动区域的中心。中心斜边方格应倾斜 5°，旋转公差为 ±2°。它们应位于活动区域的中心。纵横比图像高度的 16.5% 的倍数为重心测量 SFR。对于最靠近图像中心的正方形，中心应位于相对于图像中心 4:3 图像高度的 16.5%。正方形的位置应在 0°、±45°、±90°、±135° 和 180° 方向上从图表中心径向延伸。正方形的侧面应为 4:3 纵横比图像高度的 15%。或者，也可以在 ±22.5° 和 ±157.5° 方向放置正方形。

应使用对焦辅助功能。对焦辅助功能通常是一个圆被划分为高对比度的黑白象限。此功能也有助于图像居中。

5.2.3 灰阶卡

灰阶卡 (OECF) 主要依据 ISO 14524，可以分为 12 灰阶、16 灰阶和 20 灰阶等不同的版本，针对不同的动态范围及量化深度的摄像头的测量。针对目前移动终端摄像头动态范围不断提升，量化深度升级的现状，本文件件在相同原理的基础上增加了 24 灰阶，28 灰阶和 32 灰阶的版本，为更高性能的摄像头测试准备条件。不同灰阶块的 OECF 测试卡布局示意图见图 8。

OECF 测试卡应包括一个漫射表面（反射或透射），至少有 12 个中性灰度块，其视觉密度增量等于亮度的立方根 (±0.05 密度单位或 ±12%)。图卡背景的视觉密度 (D_b) 应按照公式 (4) 进行设置：

$$D_b = 0.74 \left(\frac{D_{avg} - D_1}{2.2} \right) + D_1 \quad (4)$$

式中：

D_{avg} —最暗灰阶块的视觉密度；

D_1 —最轻灰阶块的视觉密度。

应根据 ISO 5 系列标准 (I-4) 测定视觉密度。图卡上的灰色区域应为正方形，每个区域的边长相等。如果是 12 灰阶，边长应为图卡高度的 $\sqrt{2}/9$ 倍。灰阶块应围绕相机光轴循环布置，一个圆穿过正

图 5 示例了国际上点状图手工对位方法，用镜子瞄准，旋转摄像头，直到取景器中摄像头图像位于图像中心。本标准推荐更高效的自动对位方法，通过自动化测试系统保证测量精度并提升测试效率，降低人为影响因素。

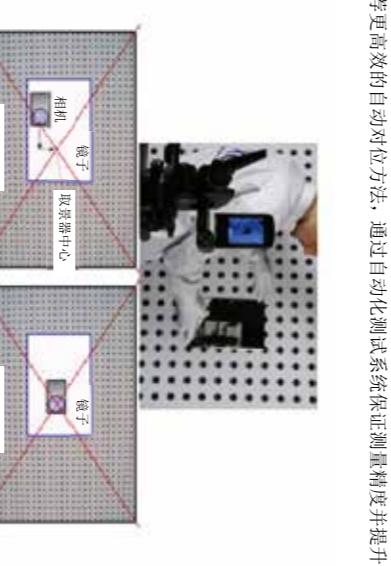


图5 国际上点状图手工对位方法

5.2.3 常用图卡

测试图卡可以分为以下几个种类，大部分图卡在相应的国际标准中作过详细的规定和描述。实际使用的图卡可以完全参照国际标准，也可以抽取其中的关键图卡元素组合出新的图卡以实现更好的综合评测效果。同时，由于移动终端摄像系统发展很快，部分标准图卡已不能满足评测需求，本文件依据新的需求进行了扩展和更新。在使用本文件进行评测时，根据实际需求可以选择不同版本的图卡，或自行定义图卡，需要在测试报告中作清晰的说明。

- 点状图 (ISO 1785, ISO 19084, IEEE 1858)
- 分辨率图卡 (ISO 12233, IEEE 1858)
- 灰阶卡 (ISO 14524, ISO 15739, IEEE 1858)
- 色卡 (ISO 1732, IEEE 1858)
- 实物卡 (不同实物和图卡元素组合)
- 人像卡 (IEEE 1858) (3D 人模) (不同肤色、性别、年龄)
- 枯叶图卡 (ISO 19567-2, IEEE 1858) (彩色、黑白)
- 透射式宽动态卡 (ISO 21550)

图6 点状图

分辨率图卡主要依据 ISO 12233 标准，其中包含了各种不同版本的图卡，具体可以参照 ISO 12233。本文件只重点介绍低对比度多点 SFR 图卡 (见图 7)，其特点是不易受图像增强算法的影响而导致评测偏差。

SFR 图卡参照 IEEE 1858 中低对比度多点 SFR 图卡 (见图 7)，其特点是不易受图像增强算法的影响而导致评测偏差。

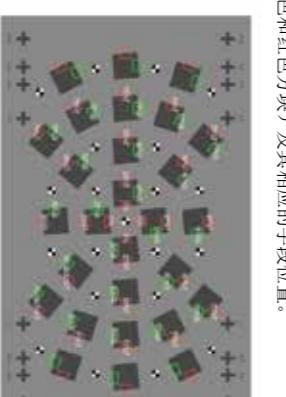


图6 点状图

表7 (续)

图卡分类/亮度比率 ($D_{\min}=0, 10$)							
灰阶	低对比度		标准反射		正常对比度		高对比度
	20:1	80:1	160:1	160:1	1000:1	1000:1	16000:1
Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i
9	1.596	0.792	2.151	1.005	2.540	1.089	4.130
10	1.671	0.732	2.95	0.921	2.733	0.994	4.522
11	1.745	0.675	2.439	0.842	2.926	0.905	4.913
12	1.820	0.621	2.583	0.767	3.118	0.822	5.304
13	1.894	0.569	2.726	0.696	3.311	0.744	5.696
14	1.969	0.518	2.870	0.629	3.503	0.671	6.087
15	2.044	0.470	3.014	0.566	3.696	0.601	6.478
16	2.118	0.423	3.158	0.505	3.888	0.555	6.870
17	2.193	0.378	3.302	0.447	4.081	0.472	7.261
18	2.267	0.335	3.446	0.391	4.273	0.412	7.652
19	2.342	0.292	3.590	0.338	4.466	0.354	8.043
20	2.416	0.252	3.733	0.287	4.659	0.299	8.435
21	2.491	0.212	3.877	0.238	4.851	0.247	8.826
22	2.565	0.174	4.021	0.190	5.044	0.196	9.217
23	2.640	0.136	4.165	0.144	5.236	0.147	9.609
24	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100	10.000
背景	0.538	0.740	0.841	0.841	0.841	0.841	1.109

表8 28灰阶OECF卡密度和亮度(最小密度为0.10)

图卡分类/亮度比率 ($D_{\min}=0, 10$)							
灰阶	低对比度		标准反射		正常对比度		超高对比度
	20:1	80:1	160:1	1600:1	16000:1	1000:1	16000:1
Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000
2	1.063	1.321	1.123	1.852	1.164	2.106	1.333
3	1.127	1.245	1.171	1.328	1.193	1.667	1.434
4	1.190	1.174	1.368	1.595	1.492	1.783	2.000
5	1.254	1.106	1.490	1.483	1.656	1.647	2.333
6	1.317	1.042	1.613	1.380	1.820	1.524	2.667
7	1.381	0.980	1.735	1.285	1.984	1.411	3.000
8	1.444	0.922	1.858	1.196	2.148	1.308	3.333
9	1.508	0.866	1.980	1.113	2.312	1.212	3.667
10	1.571	0.812	2.103	1.035	2.476	1.123	4.000
11	1.635	0.761	2.226	0.961	2.640	1.039	4.333
12	1.698	0.711	2.348	0.891	2.804	0.961	4.667
13	1.762	0.663	2.471	0.825	2.968	0.887	5.000
背景	0.538	0.740	0.841	0.841	0.841	0.841	1.109

表9 32灰阶OECF卡密度和亮度(最小密度为0.10)

图卡分类/亮度比率 ($D_{\min}=0, 10$)							
灰阶	低对比度		标准反射		正常对比度		高对比度
	20:1	80:1	160:1	1600:1	1000:1	16000:1	16000:1
Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i	Y _i ^{1/3}	D _i
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000
2	1.090	1.288	1.174	1.794	1.233	2.031	1.474
3	1.180	1.185	1.348	1.614	1.466	1.806	1.947
4	1.271	1.089	1.522	1.455	1.699	1.613	2.421
5	1.361	1.000	1.697	1.314	1.932	1.446	2.895
6	1.451	0.916	1.871	1.187	2.165	1.297	3.368
7	1.541	0.837	2.045	1.071	2.399	1.164	3.842
8	1.632	0.763	2.219	0.965	2.632	1.043	4.316
9	1.722	0.693	2.393	0.866	2.865	0.933	4.789
10	1.812	0.626	2.567	0.775	3.098	0.831	5.263
11	1.902	0.563	2.742	0.689	3.331	0.736	5.737
12	1.993	0.503	2.916	0.609	3.564	0.648	6.211
13	2.083	0.445	3.090	0.553	3.797	0.566	6.684
14	2.173	0.390	3.264	0.462	4.030	0.488	7.158
15	2.263	0.337	3.438	0.394	4.263	0.415	7.632
16	2.353	0.286	3.612	0.330	4.496	0.346	8.105
17	2.444	0.237	3.786	0.268	4.730	0.280	8.579
18	2.534	0.190	3.961	0.210	4.963	0.217	9.053
19	2.624	0.144	4.135	0.154	5.196	0.157	9.526
20	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100	10.000
背景	0.538	0.740	0.841	0.841	0.841	0.841	1.109

方形的近似中心，半径等于图卡高度的三分之一。可在图表上为1:1至16:9的相机纵比提供框架标记。

T/GSMT DZ001-2021

T/GSMT DZ001-2021

表6 20灰阶OECF卡密度和亮度(最小密度为0.10)

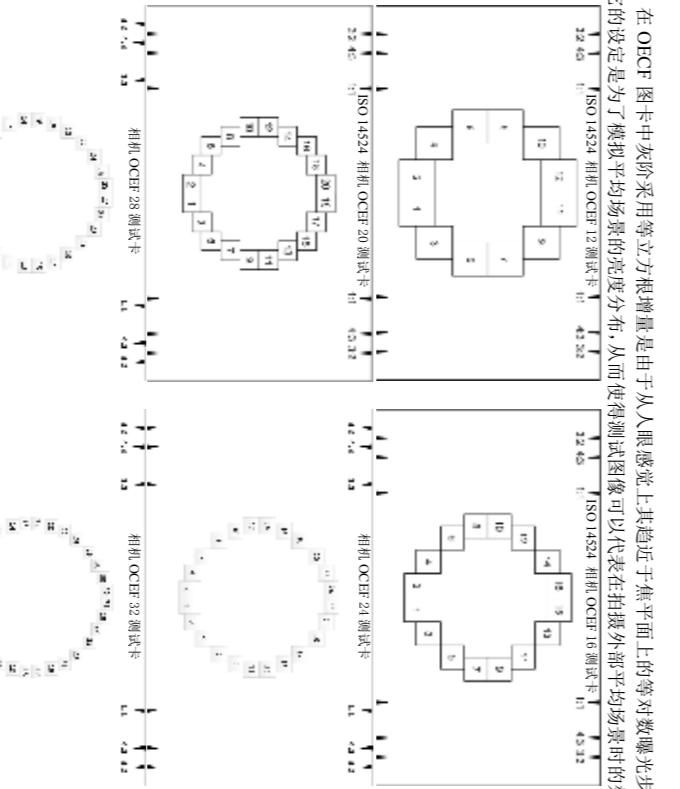


图8 不同灰阶块的OECF测试卡布局示意图

具体构建OECF测试的第一步是确定用于该图卡的材料可实现的最小和最大密度能力 (D_{\min} 和 D_{\max})。根据这些值和公式(5)，可以计算出最大图卡亮度 (ΔY_{\max})：

$$\Delta Y_{\max} = 10 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) \quad (5)$$

然后选择期望亮度比 (ΔY) 应该小于等于 ΔY_{\max} 。

选择好 ΔY 后，可根据公式(6)计算出平均立方根增量 $Y'^{1/3}$ ：

$$Y'^{1/3} = (Y_{i+1})^{1/3} - \frac{(AY)^{1/3}-1}{n-1}, \quad i = n-1, \dots, 1, \quad Y_n = \Delta Y \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

然后根据 $Y'^{1/3}$ 值和公式(7)计算图块密度 (D_i)：

$$D_i = \log_{10} \left[\frac{\Delta Y}{(Y'^{1/3})^3} \right] + D_{\min}, \quad i = n, \dots, 1 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

表6~表9给出了20、24、28和32灰阶OEC

5.2.3.5 实物卡

实物卡包含各种不同的实物元素，包括人脸、不同颜色不同粗细的丝线、花草、金属、颜色丰富的条块状纯色物体、文件、头发、木色、羽毛、钱币、二维码及其它常拍目标物。同时为了具备客观可量化分析的需求，还应涵盖不同的图卡元素，包括色卡、分辨率卡、枯叶图、灰阶等。图13为实物卡的参考样图。

色品坐标相关数值的测定与光源相关，表10中指定了测试所采用的照明光源及条件。图11给出了24色卡可见光波段的光谱反射率。对于白平衡测试，需要明确的照明光源的光谱分布数值，在ISO 17321-1：2012的附录C中有详细的不同的色块的相对光谱（380 nm~780 nm）反射率的目标值。

24色卡可见光波段的光谱反射率。对于白平衡测试，需要明确的照明光源的光谱分布数值，在ISO 17321-1：2012的附录C中有详细的不同的色块的相对光谱（380 nm~780 nm）反射率的目标值。



图11 24色卡的光谱反射率

140色卡（见图12）提供比24色卡更大的色域空间和更精细的颜色细分。140个色块包含了经典24色块，更精细的14个肤色色块，17级灰度色块。对于DCI-P3及更大色域空间的色彩还原以及精细肤色还原的测试应采用140色卡。



图12 140色卡的参考样图

表9 (续)

图卡分类/亮度比等 ($D_{min}=0, 10$)								
低对比度 灰阶	标准反射 20:1	正常对比度 80:1	高对比度 160:1	超高对比度 1000:1				
$Y_{l^*}^{1/3}$	D_l	$Y_l^{1/3}$	D_l	$Y_l^{1/3}$	D_l	$Y_l^{1/3}$	D_l	$Y_l^{1/3}$
14	1.719	0.695	2.388	0.869	2.857	0.936	4.774	1.063
15	1.774	0.654	2.494	0.812	3.000	0.873	5.065	0.986
16	1.830	0.614	2.601	0.758	3.143	0.812	5.355	0.914
17	1.885	0.576	2.708	0.705	3.286	0.754	5.645	0.845
18	1.940	0.538	2.815	0.655	3.429	0.699	5.935	0.780
19	1.995	0.501	2.921	0.606	3.572	0.646	6.226	0.717
20	2.051	0.465	3.028	0.560	3.714	0.594	6.516	0.658
21	2.106	0.431	3.135	0.514	3.857	0.545	6.806	0.601
22	2.161	0.397	3.241	0.471	4.000	0.498	7.097	0.547
23	2.217	0.364	3.348	0.429	4.143	0.452	7.387	0.495
24	2.272	0.332	3.455	0.388	4.286	0.408	7.677	0.444
25	2.327	0.300	3.562	0.348	4.429	0.365	7.968	0.396
26	2.383	0.270	3.668	0.310	4.572	0.324	8.258	0.349
27	2.438	0.240	3.775	0.272	4.715	0.284	8.548	0.304
28	2.493	0.211	3.882	0.236	4.857	0.245	8.839	0.261
29	2.549	0.182	3.969	0.201	5.000	0.207	9.129	0.219
30	2.604	0.154	4.095	0.166	5.143	0.170	9.419	0.178
31	2.659	0.127	4.202	0.133	5.286	0.135	9.710	0.138
32	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100	10.000	0.100
背景	0.538	0.397	0.740	0.841	0.100	1.109	1.514	



图10 24色卡的基础说明

每个色块都有准确的 sRGB, $L^*a^*b^*$ 及孟塞尔坐标系下的指定坐标，见表10。

表10 24色卡的颜色坐标规格

编号	色样	sRGB	$L^*a^*b^*$	孟塞尔颜色体系					
R	G	B	L^*	a^*	b^*	色调	明度/彩度		
1	深肤色	117	77	70	37.039	13.708	14.302	3.2YR	3.7/3.4
2	中等肤色	197	146	135	65.750	13.644	17.650	2.1YR	6.5/4.3
3	天蓝色	92	123	163	51.195	-3.408	-20.681	4.5PB	4.9/5.5
4	草绿色	95	103	70	42.381	-12.420	21.218	6.6GY	4.2/4.1
5	浅紫色	127	132	185	57.312	7.054	-23.679	9.8PB	5.5/6.7
6	蓝绿色	112	187	175	71.651	-30.446	3.404	2.2BG	7/5.9
7	橙色	220	113	55	59.665	33.518	53.797	4.7YR	6/10.9
8	蓝紫色	61	98	171	42.313	8.267	-39.799	7.5PB	3.9/10.5
9	柔红色	193	83	103	50.449	43.211	13.908	2.5R	5/10.4
10	紫色	89	63	113	31.134	20.937	-22.798	5.1P	3/6.8
11	柠檬黄色	173	178	68	70.963	-20.298	58.058	5.1GY	7.1/9.1
12	橙黄色	237	151	58	70.173	19.952	63.559	9.9YR	7.1/10.4
13	蓝色	19	74	158	32.521	14.642	-47.818	7.4PB	2.9/12.6
14	绿色	90	142	74	54.739	-35.014	34.854	0.2G	5.4/8.8
15	红色	172	50	65	40.250	48.387	23.683	4.8R	4/12.1
16	黄色	247	188	38	80.070	3.891	79.867	5Y	8.1/11.3
17	品红色	181	88	155	51.182	43.280	-15.866	2.7TRP	4.9/12
18	青色	0	161	180	53.340	-30.054	-22.496	4.8B	5/8.1
19	白色	249	248	248	95.330	-0.721	1.441	N	9.5/
20	中性灰 8	205	203	205	80.368	0.205	0.478	N	8/
21	中性灰 6.5	161	159	162	66.234	0.167	0.073	N	6.5/
22	中性灰 5	120	118	120	52.089	0.177	0.114	N	5/
23	中性灰 3.5	71	72	73	36.448	-0.139	-0.454	N	3.5/

符合以上方法制作的OECF灰阶卡还必须确认输出结果的光谱反射率/透射率和噪声特性，以确保图卡在光谱上是中性，并且噪声水平足够低，从而使灰阶块的亮度有效恒定。图9为OECF图卡示意图。

尤其是当通过拍摄OECF图卡的图像分析来获得摄像头的噪声指标时（如ISO 12232中所述的确定噪声速度所需的噪声测量值），则图卡本身的噪声特性变得更加重要。

同时图卡放置和使用过程的灰尘和磨损都是新的噪声因素，必需定期计量校准和更新。



图9 OECF图卡示意图

图14 24色卡的参考样图

在主观测试中，很多场景需要同时测试有人和无人的结果，而且有人场景的结果权重更高。



图14 24色卡的参考样图

人像卡是以人脸图像为主的图卡，基础人像卡需包含不同肤色、性别的人像，用于基本的肤色还原验证测试、人脸识别测试以及人脸识别后的针对性算法优化效果的测试。扩展图像宜增加不同年龄、不同色彩服装以及不同色彩和纹理的背景，更全面地覆盖终端使用人群和场景。图14为基础人像卡的示意图。

在主观测试中，很多场景需要同时测试有人和无人的结果，而且有人场景的结果权重更高。



图14 24色卡的参考样图

人像卡是以人脸图像为主的图卡，基础人像卡需包含不同肤色、性别的人像，用于基本的肤色还原验证测试、人脸识别测试以及人脸识别后的针对性算法优化效果的测试。扩展图像宜增加不同年龄、不同色彩服装以及不同色彩和纹理的背景，更全面地覆盖终端使用人群和场景。图14为基础人像卡的示意图。

在主观测试中，很多场景需要同时测试有人和无人的结果，而且有人场景的结果权重更高。



图14 24色卡的参考样图

人像卡是以人脸图像为主的图卡，基础人像卡需包含不同肤色、性别的人像，用于

—TL84 荧光灯 4000 K (欧洲)；
 —CWF 荧光灯 4100 K (美国)；
 —LED 多色温光源。

考虑到覆盖更广拍摄场景，建议考虑以下拓展光源：

—一定等级的D50 模拟荧光灯光源；

—D50、D75 仿日光光源 (A 光加滤色片实现的)；

—钠灯光源 (部分道路夜景路灯场景)；

—近红外 LED 光源。

注：此处规定的 A 光源是一个标准卤钨灯泡，相关色温 (CCT) 为 2856 K~3000 K (不同照度)。

如果使用非连续源 (如荧光灯管)，则应将其连接到高频镇流器 (>42 kHz)，以尽量减少闪烁带来的影响。

5.3.2.1 照度、色温监测传感器

对于 LED 光源，不宜使用 PWM 直接调光，而是通过恒流控制实现调光。对于用不同频谱 LED 组合的仿真光源，考虑频谱调节的量化误差不宜应用于任意光谱和亮度，而是限于计量校准过的组合。

考虑到光源经常会用玻璃及 PMA 制成的漫射器放置在光线路径中时，且环境反射同样会影响相关色温 CCT，最终的色温、频谱和照度控制应基于图卡照面上的结果。

有采用其他光源应在报告中注明，测试报告应标明目标物上的照度和色温测量值。

5.3.2 图卡面的照明条件

测试系统应有助于图卡面的照度、色温的监测点位。照度传感器的测量面应与图卡面重合。具体实现方法可以根据实际的测量系统配置自行定义。对于不同类型的照明光源，照度计的照度测量误差应在 $\pm 5\%$ (1 lx 以上照度) 和 $\pm 10\%$ (1 lx 以下照度) 以内，色温表的色温测量误差需在 ± 200 K (>10 lx 以上照度D65光源条件下) 以内。

5.3.2.2 照明条件参数

图卡面的照明条件要考虑照度目标值及均匀性、色温目标值及均匀性和照度稳定性。所有测量点都应该在图卡表面的同一平面内并从中心到边角均匀分布。建议是通过以图卡中心向最大图卡边角延伸的 8 个方向上都有至少三个等距延展点组成的 25 个米字网格点中获得目标的测量值，参见图 19。

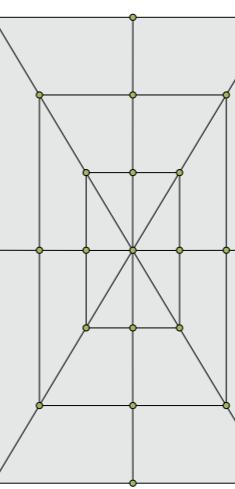


图 19 照明测试点位置参考图

对于透射式光源的均匀性，建议采用成像亮度计 (或色度计) 进行位置点测试评估。避免因细微亮光点和暗点产生不易测量到的缺陷，光源需定期自检或计量校准。

具体的照度和色温值可以取不同的平均值或中间值。

照度均匀性根据具体目标物尺寸，选取部分或全部测量点采集的数据，从中获得最大值、最小值和平均值，并通过公式 (8) 计算均匀性：

$$U_L = 1 - (E_{Max} - E_{Min}) / E_{Avg} \quad (8)$$

式中：
 E_{Max} — 不同测量点照度的最大值；
 E_{Min} — 不同测量点照度的最小值；
 E_{Avg} — 不同测量点照度的平均值。

色温均匀性可按同样原理通过色温值来计算，见公式 (9)：

$$U_{CCT} = 1 - (CCT_{Max} - CCT_{Min}) / CCT_{Avg} \quad (9)$$

式中：
 S_{Li} — 第*i*点的照度稳定性；
 E_{CCT} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的最大值；
 E_{Min} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的最小值；
 E_{Avg} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的平均值；
 S_L — 整个目标物范围的照度稳定性；
 n — 整个目标物范围的测量点数量。

不同光源的稳定性要求不一样。建议光源切换或调整亮度等稳定性达标再开始测试，采集时间为 60 s，每两秒一个测量值。

平均照度应该控制在目标值 $\pm 5\%$ 以内。对于反射图卡，最大图卡区域的照明均匀性应 $\geq 80\%$ ，透射图卡的整个区域的照明均匀性应 $\geq 90\%$ 。如果对均匀性另有规定，需在报告标明照明均匀性。

光源的色温值与目标值的误差需要控制在 ± 200 K 以内。D65、D50、D75 等日光模拟光源按表 11 中色差评价，两个指标都需达到 B 级以上。

表 11 日光模拟光源的色差等级

$\Delta E(CIELAB)$	$\Delta E(CIELUV)$	等级
<0.25	<0.32	A
0.25~0.5	0.32~0.65	B
0.5~1	0.65~1.3	C
1~2	1.3~2.6	D
>2	>2.6	E

对于透射式光源的均匀性，建议采用成像亮度计 (或色度计) 进行位置点测试评估。避免因细微亮光点和暗点产生不易测量到的缺陷，光源需定期自检或计量校准。

具体的照度和色温值可以取不同的平均值或中间值。

照度均匀性根据具体目标物尺寸，选取部分或全部测量点采集的数据，从中获得最大值、最小值和平均值，并通过公式 (8) 计算均匀性：

$$U_L = 1 - (E_{Max} - E_{Min}) / E_{Avg} \quad (8)$$

式中：
 E_{Max} — 不同测量点照度的最大值；
 E_{Min} — 不同测量点照度的最小值；
 E_{Avg} — 不同测量点照度的平均值。

色温均匀性可按同样原理通过色温值来计算，见公式 (9)：

$$U_{CCT} = 1 - (CCT_{Max} - CCT_{Min}) / CCT_{Avg} \quad (9)$$

式中：
 S_{Li} — 第*i*点的照度稳定性；
 E_{CCT} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的最大值；
 E_{Min} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的最小值；
 E_{Avg} — 第*i*点在不同测量时间得到照度的平均值；
 S_L — 整个目标物范围的照度稳定性；
 n — 整个目标物范围的测量点数量。

不同光源的稳定性要求不一样。建议光源切换或调整亮度等稳定性达标再开始测试，采集时间为 60 s，每两秒一个测量值。

平均照度应该控制在目标值 $\pm 5\%$ 以内。对于反射图卡，最大图卡区域的照明均匀性应 $\geq 80\%$ ，透射图卡的整个区域的照明均匀性应 $\geq 90\%$ 。如果对均匀性另有规定，需在报告标明照明均匀性。

光源的色温值与目标值的误差需要控制在 ± 200 K 以内。D65、D50、D75 等日光模拟光源按表 11 中色差评价，两个指标都需达到 B 级以上。

T/GSMT DZ001-2021

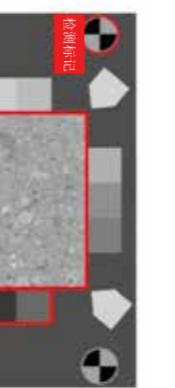


图 17 枯叶图参考样图

5.2.3.8 透射式宽动态卡

透射式宽动态图卡配合宽动态灯箱 (30000 cd/m² 以上) 可以模拟阳光场景下的动态范围。用以测试摄像头在高亮场景的伽马响应、噪声和动态范围。建议参考图 18 为宽动态透射卡参考样图。暗部上半部中灰色背景可以使自动曝光的摄像头实现适中的曝光；暗部具有黑色背景的动态灰阶块可以使自动曝光调整到较亮块趋于过曝而实现动态范围测试。

5.2.3.9 照明

5.3 照明

ISO 7589:2002 针对胶片摄影作出了基础的 D55 和 A 光光源规定，光谱范围较窄。ISO 11664-2:2007 则在 A 光和 D65 光源上作出了更详细和更宽光谱范围的规定。实际摄影场景中仍要考虑广泛使用的荧光灯和大量应用的 LED 光源。在新的标准详细描述影像评测用光源之前建议参照以上标准优先使用以下光源：

—一定等级的 D55 模拟荧光灯光源；

—D65 仿日光光源 (A 光加滤色片实现的)；

—A 光源 卤钨灯；

T/GSMT DZ001-2021

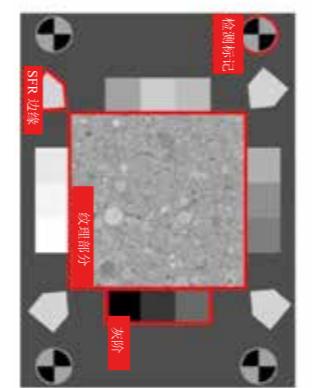


图 18 宽动态透射卡参考样图

5.3.1 光源

ISO 7589:2002 针对胶片摄影作出了基础的 D55 和 A 光光源规定，光谱范围较窄。ISO 11664-2:2007 则在 A 光和 D65 光源上作出了更详细和更宽光谱范围的规定。实际摄影场景中仍要考虑广泛使用的荧光灯和大量应用的 LED 光源。在新的标准详细描述影像评测用光源之前建议参照以上标准优先使用以下光源：

—一定等级的 D55 模拟荧光灯光源；

—D65 仿日光光源 (A 光加滤色片实现的)；

—A 光源 卤钨灯；

完整的细节纹理图块包含两个基本元素：(1) 枯叶纹理图块，用于纹理 MTF 的测量；(2) 在 18% 灰度背景上的 12 个灰度级图块，用于 (a) 反转相机的色调曲线 (OECF) 以计算线性颜色空间中的纹理 MTF，(b) 计算噪声补偿。

具体地说，50% 反射率的灰度贴片用于近似相机捕捉的噪声级，并随后在纹理模糊度量中提供噪声补偿。

测试时，图卡应位于拍摄区域的中心，18% 的背景反反射率，建议对枯叶图块进行最小 256×256 像素的采样。尽量减少光照不均匀性问题 (如镜头阴影，图中的枯叶部分应占垂直视场的 1/4 (对于大于 5 mp 的相机) 和约 1/3 (对于相机 <5 mp 传感器))，同时适当调整远近距离改变背景的比例以保证纹理部分不会过曝或欠曝。如果必要，也可以通过在允许的范围内调整光源的亮度来实现合理曝光。

图 17 为枯叶图样示例，参考样图中还包含其他可选组件：检测标记和倾斜边缘。

将公式(18)和上述 a , b , c 的值代入公式(17)的分母, 通过解析计算, 锐度可以表示为公式(19):

$$Q = \frac{\int_{v_0}^{v_\infty} SFR(v) M(v) CSF(v) dv}{\int_{v_0}^{v_\infty} CSF(v) dv} \quad (19)$$

附录 A 中描述了将 SFR 数据转换为 OECF 的过程, 该过程是以循环每像素为单位的空间频率的函数。其中也对查看条件进行了概述。附录 B 详细描述了斜边 SFR 的计算。

6.7 几何畸变

几何畸变是指图像场中的非均匀放大。失真的主要原因是场景中对象的相对大小没有得到很好的保留, 特别是场景中的直线在图像中不再是直线。ISO 17850 对几何畸变的测试作出了详细的规定。

图 22 为两种主要的畸变。对于桶形畸变, 放大倍数随径向距离的增大而减小, 而对于枕形畸变则增大。

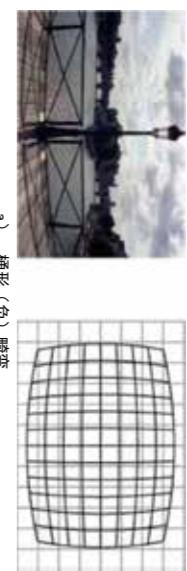


图 23 局部几何畸变定义

LGD 表示为公式(20):

$$LGD = 100 \times \frac{H' - H}{H} \quad (20) LGD$$

式中:

H' ——图像中心到点的距离;

H ——未畸变点的位置 (使用网格中的位置和中心点间距预测)。

LGD 值是畸变占图像大小的百分比。图像的中心看作不存在失真。因此, 可以从图像中心的几个点的位置来估计 H 。每个检测到的点提供一个几何畸变值。通过假设径向对称, 然后将畸变绘制到图像中心距离的函数。最终, LGD 值取图像场中畸变的最大绝对值。

6.7.2 测量步骤

点状图必须在视场范围内。因此, 点的大小和间距必须适应相机像素数和视场, 以便至少 300 个直径为 10 像素的点可见。对于可变焦距, 应根据焦距设置拍摄距离。

——点状图应与摄像头的光轴垂直。应按照 5.2.2 操作, 以确保点状图和相机正确对齐。

——点组成的线应是水平或垂直的。

由于畸变与波长有关, 因而还取决于光源和传感器的光谱响应。但实际测试仅需报告绿色通道上的畸变。绿色通道之间的畸变差异包含在色位移度量中, 因此不在这进行处理。

29

30

6.7.3 数据处理和评判分析

局部几何畸变包括无畸变、桶形畸变 (负) 和枕形畸变 (正), 如图 23 所示。摄像头的对齐应包括以下内容。

——点状图应与摄像头的光轴垂直。应按照 5.2.2 操作, 以确保点状图和相机正确对齐。

——点组成的线应是水平或垂直的。

6.7.1 测量条件和方法

必须与测量结果一起报告的影响因素包括:

——焦距;

——对角距离;

——与图卡的距离;

将相机设置为缺省设置, 白平衡应设置为自动。所有特殊颜色模式或色调模式应停用或设置为自动。

应使用 5.1.2 中描述的静态实验室, 并选择 D65 或 D50 光源。

6.7.1.2 图像相机设置

将相机设置为缺省设置, 白平衡应设置为自动。所有特殊颜色模式或色调模式应停用或设置为自动。必须与测量结果一起报告的影响因素包括:

——焦距;

——对角距离;

——与图卡的距离;

由于畸变与波长有关, 因而还取决于光源和传感器的光谱响应。但实际测试仅需报告绿色通道上的畸变。绿色通道之间的畸变差异包含在色位移度量中, 因此不在这进行处理。

6.6 空间频率响应 (SFR) 分辨率及锐度

进一步可分析不同对焦结果在总测试次数中的比例进行对比。对焦准确度=精确对焦次数/总测试次数。

一般明亮环境 (1000 lx) 对焦准确率趋近 100%, 出现失焦是较大问题。暗环境 (20 lx) 下对焦准确率不低于 88%, 失焦多于 1 次也要引起关注。

采用低对比度图卡时, 对焦准确度会有所降低, 但如果有明显下降说明算法的适应性不佳, 特别对于室内常规照度 (100 lx 以上) 对比度大于 3: 1 时出现不准确定焦的情况。

主观评测可使用高速录像同步记录对焦过程, 通过视频逐帧分析测量对焦速度。运动状态对焦分析一般采用主观评测。

SFR 是移动设备摄像头需要考虑的更重要的成像性能之一, 因为它是诸如分辨率、锐化和锐度等衍生指标的父度量。ISO 12233 标准图卡可用于移动终端摄像头的 SFR 测量, 实际应用中, 考虑到当前数字图像处理算法对于结果的影响, 推荐使用 ISO 12233 中以及 ISO 16067-1 中低对比度边缘特征的斜边 SFR 方法。本文件在测试图卡方面参考了 IEEE 1858, 以允许 0° 和 90° 以外的其他扫描方向, 更适应 SFR 的切向和径向测量, 是一种计算视觉相关的全局锐度度量的方法。

6.6.1 测试条件和方法

应使用 5.1.2 中所述的静态实验室并选择 D65 或 D50 光源。由于在昏暗照明条件下, 信噪比(SNR) 降低, SFR 结果可能取决于照度等级, 因此需要使用不同照度的测试条件, 并将所用的具体照度 (1 lx) 与 SFR 测试结果一起报告。

6.6.2 前置测试
在做测试前应进行以下前置测试来保证测试的完整进行。
6.6.2.1 伽马校正
处理后的信号代表电子静态摄像头的图像, 是场景亮度值的一个非线性函数。由于 SFR 测量是在线性化输出信号上定义的, 并且这种非线性响应将影响 SFR 值, ISO 12233: 2014 规定在进行数据分析之前对信号进行线性化。如 ISO 12233: 2014 所述, 线性化是通过查找表或适当的方程将相机光电转换函数 (OECF) 的逆运算应用于输出信号来实现的。OECF 的测量应符合 ISO 14524 的规定, 使用标准反射式摄像机 OECF 测试图或使用综合 OECF/SFR 图卡参见 5.2.3.3。
27

然而, 测量 OECF 是一个相对复杂的过程, 可以通过观察非线性的伽马 (Gamma) 曲线来简化线性化。这将应用于图像的最后阶段渲染, 以补偿显示的非线性。因为 Gamma 曲线通常已知 (例如, 对于标准 RGB (sRGB)), 它可以被反转并应用于渲染图像。如 5.2.3.3 所述, 这种反演是从 sRGB 数据转换为 CIEXYZ 的一部分, 因此在这种情况下不需要进一步线性化。剩余的非线性通常表现出弱的“S”形特征, 中心部分为线性。通过使用具有低对比度特征的测试图并通过选择适当的灰度值分布来控制曝光量, SFR 算法可以对足够线性的数据进行操作。示例见附录 F。

6.6.2.2 亮度和颜色测量

应在摄像头亮度信号上进行 SFR 测量。亮度信号由 CIE 1931 XYZ 颜色空间的 Y 通道给出。对于移动设备中保存的捕获图像的典型格式 sRGB, IEC 61966-2-1 中描述了转换为 CIEXYZ 的过程。

6.6.3 图像和摄像头设置

基本测试应按摄像头缺省设置进行。

曝光设置应为出厂默认设置, 一般是自动曝光。如 5.2.3.2 中描述, 可以通过调整图卡和背景的比例保证合理的曝光从而不会出现信号剪切。

白平衡应设置为自动。对焦应设置为自动。并通过先期自动对焦测量的分析结果为依据, 保证测试的图像是处于对焦的状态。或者可以合并于自动对焦测试中, 选择性能最好的图像进行深入分析。

移动设备通常具有图像压缩以减小图像文件的大小并存储更多图像的功能。使用图像压缩会显著影响 SFR 测量。

因此, 可能影响测量结果的所有摄像机设置值, 包括镜头焦距、光圈、图像输出尺寸或压缩模式 (如果可调), 一般同样采用缺省设置, 应随测量结果一起报告给出。

对于光学变焦的镜头以及多摄像头组合等情况下, 不同的变焦倍率和摄像头组合算法同样会对 SFR 产生较大, 这时往往需要测量不同状态和设置的多个 SFR, 才能全面表征摄像头的相关质量指标。其功能形式为公式(18):

$$SFR = \frac{\int_{v_0}^{v_\infty} SFR(v) M(v) CSF(v) dv}{\int_{v_0}^{v_\infty} CSF(v) dv} \quad (18)$$

式中:
 v ——空间频率, 用循环每度 (CPD) 表示;
 $CSF(v)$ ——视觉系统对比敏感度;
 $M(v)$ ——显示设备或打印机和纸张的调制传递函数 (MTF)。

$CSF(v)$ 是公认的视觉系统对比敏感度。本文件使用 ISO 16067-1 中描述的对比敏感度函数 (CSF), 其功能形式为公式(18):

$$CSF(v) = av^2 e^{-bv} \quad (18)$$

式中:
 a ——常数 1;
 b ——常数 0.2;

$CSF(v) = av^2 e^{-bv} \quad (18)$

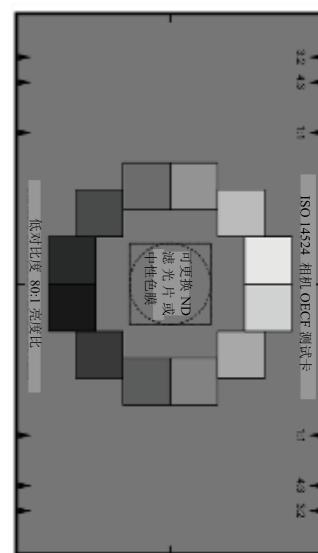


图 28 ISO 14524 12 灰阶块 OECF 测试目标说明

注 1：图块最小成像尺寸为 61×64 像素。

注 2：不得使用半色调图案印刷的透射 OECF 图卡。

6.11.2 图像和相机设置

视觉噪声测量可报告为不同的场景照明水平。对于每个视觉噪声测量，应报告场景照度、光源、曝光量（如有）和增益（如有）。

6.11.3 图像拍摄对位

摄像头的位置应能正确定位测试目标。垂直框架箭头用于调整放大倍数，并使目标水平居中。目标的方向应确保图卡的水平边缘与水平相机框架大致平行。

6.11.4 摄像头设置

压缩设置应使用缺省，有特殊模式的可调整，但因为噪声跟压缩算法和比例关系很大，建议对比时一定保持模式设置的一致。对焦应选择自动对焦，但要尽量保证目标处于对焦状态。

6.11.5 数据处理与分析

对于拍摄得到的图片，首先将 RGB 色彩空间转换为 Luv 的色彩空间，然后，每个色块图像的噪声因此，用来计算 vn_L, vn_L, vn_C 的具体公式如公式(26)~公式(28)所示。

$$vn_L = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\sigma(\mathbf{u}_i))^2} \quad \dots \quad (26)$$

$$vn_C = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\sigma(\mathbf{v}_i))^2} \quad \dots \quad (27)$$

37

38



图 29 纹理细节和纹理细节退化

为实现对以上这类细节纹理还原能力的评价，引入了 5.2.3.7 中描述的枯叶图测试卡，并通过 MTF 和锐度的分析评价相关性能。它和噪音测试经常是矛盾的。

但是，请注意，在两幅图像中，彩色目标的边缘仍然不受去噪算法的影响。

6.12 纹理模糊

数字成像允许使用图像处理技术修改图像的外观。其中一类技术可用于增强图像的清晰度或降低噪声，尤其是在弱光条件下。然而，无论这些技术多么有效，它们只能减少摄像机捕提到的信息。因此，当噪声强度增加时，当图像处理尝试使用更积极的滤波来降低噪声时，图像的材质外观中的纹理开始减小。图像处理技术可以保持高对比度的边缘并检测平坦区域以保持良好的信噪比。但是它们可以显著降低对比度较低的纹理中的细节级别。因此，量化图像中纹理层次的度量对于评估数字成像的图像质量是非常重要的。

纹理细节和纹理细节退化如图 29 所示。图 29 a) 是不变的相机捕获的一部分。图 29 b) 是经过去噪算法后的同一幅图像。观察图 29 b) 中叶子的细节相对于图 29 a) 中有更大的纹理细节的丢失。

但是，请注意，在两幅图像中，彩色目标的边缘仍然不受去噪算法的影响。

6.10.1 测试设备与方法

6.10.1.1 均匀场图卡

测试图卡应在整个成像视场上提供光谱中性的均匀亮度分布。可以采用透射式的，也可以是反射式的，并且在整个成像区域应提供至少 92% 的均匀性（见 5.3.2），平均亮度不低于 50 cd/m^2 ，目标电平为 100 cd/m^2 。反射图卡的材料应为高反射率 (>90%) 增光表面，以消除任何表面“热点”或不需要的反射。使用亮度计验证图卡的平均亮度应在 50 cd/m^2 ~ 100 cd/m^2 之间，并且图卡上的均匀性要大于 92%。

如果使用透射式图卡，图卡和相机之间的距离应至少为 4 cm，以避免杂散光造成伪影。并更好地满足照明观测条件。为避免环境反射光带来的影响，需要在暗室进行测试，并具有足够的遮光屏蔽系统避免来自周围环境和摄像头对图卡的反射。

为了避免在光源与颜色校正器同时使用时出现场景不均匀，可以使用标准漫射器，此时滤波器应放置在光源和漫散器之间。使用亮度计确定漫射体表面的亮度，至少为 100 cd/m^2 ，相机视场内漫射体表面均匀性为 92% 或更高。

6.10.1.2 光源

光源部分，反射目标至少有两个光源，或透射目标至少有一个光源，本测试建议三个光源（5.3.1 中的子集）是：

- D65;
- A 光源;
- TL84。

提供至少 92% 均匀度的照明。

日光 (D65) 和 A 光灯都有很强的红外 (NIR) 成分，由于红外滤光片的特性，在拍摄过程中会造成明显的色差。有些相机在荧光光源下会出现明显的色差，这可能是因为在使用不正确的校准配置文件时图像处理过程中的色差校正引起的。附加 TL84 荧光光源可用于测试由图像处理操作引入的色差。

6.10.2 图像/相机设置

至少应拍摄三个图像，每个光源一个。应使用最高质量（最小压缩）设置以“完全分辨率”保存这些图像。

相机应设置为自动曝光，并说明图像中的平均灰度值。如果曝光调节可用，则应调整曝光，使平均灰度值介于 110~130 范围内（在 0~255 sRGB 刻度上）或 L^* 值介于 46~55 范围内。影响因素应随测量结果给出。测量取决于光源和为计算 CIELAB 坐标而选择的参考白点。

6.10.3 分析方法和结果展示

为了便于分析，图像被分为 20×15 像素块（宽高比为 4:3）、 24×16 块（宽高比为 3:2）、 32×18 块（宽高比为 16:9）。每个块内的像素被平均化，生成的图像数据（通常为 RGB 格式）被转换为 CIELAB 颜色空间。取参考白点的绝对值，例如 $Y=100$ ，并在测量后给出。

图像的总体平均 \bar{a} 和 \bar{b} 。第 i 个块的偏差定义为公式 (24)：

$$D_c(i) = \sqrt{(\bar{a}^*(i) - \bar{a})^2 + (\bar{b}^*(i) - \bar{b})^2} \quad \dots \quad (24)$$

最后，将与总体平均值的最大偏差作为颜色差异的度量。 D_c 是最大颜色不均匀性，如公式 (25)

35

T/GSMT DZ001-2021

所示：

$$D_c = \max_i D_c(i) \quad \dots \quad (25)$$

6.11 视觉噪声

噪声是决定图像可接受性的核心因素之一。移动设备摄像头的视觉噪声测量参照 ISO 15739:2017 视觉噪声度量。

视觉噪声性能的测量，通过噪声测试目标和用于测量使用该目标的移动设备系统的视觉噪声性能的协议来描述。视觉噪声计算详见附录 C。

除了噪声本身的小大，其可见性还取决于以下因素：

- 包含噪声区域的视亮度；
- 观察者参考噪声的空间频率；
- 观察者参考图像内容的空间频率。

由于这些因素，曝光（贴片信号电平）和观看条件是关键参数。

以下成像系统的参数也会影响最终图像中的亮度和/或色度：

- 影响系统曝光和增益的照明水平；
- 照明光谱含量；CCT 决定自平衡；
- 环境温度，它会影响暗电流效果，例如像素缺陷、固定模式噪声和暗电流散粒噪声；
- 颜色饱和度和颜色精度可能随光照强度的变化而变化；
- 去马赛克/去拜耳插值方法将影响噪声的频率；
- 系统中实施的任何降噪算法都会影响视觉噪声，具体取决于降噪量和降噪方式；
- 任何在系统中使用的微化算法也会影响视觉噪声。

6.11.1 仪器和硬件

噪声测量通常要覆盖广泛的场景照明条件，包括一定范围的照度，通常为 1 lx ~ 1000 lx ，不同的色温，如：D65 和 A 光。因为缺少蓝光，在钨丝白炽灯照明下成像通常会产生最高的噪声。

在某一种照明条件下良好的噪声性能，并不代表在另一种照明条件下具有良好的噪声性能。

对于弱光条件下的比较测量，光源的稳定性非常重要，因为即使 1 lx 的漂移也可以使照明改变 10%。光源和图卡组合的均匀性要求如下：

——光源经过预热而稳定，从测量到图像曝光的时间里，图卡中心的平均亮度变化应在 $\pm 2\%$ 范围内；

——图卡应均匀照明，保证每一个图块的照度都在图卡中心附近平均照度的 $\pm 5\%$ 范围内；

——对于多个摄像头的比较，在所有摄像头的图像采集过程中，图表中心的平均亮度方差测量值应在 $\pm 2\%$ 范围内。

反射图卡周边宜设置挡板，以防止光源直接照亮摄像头。透射式图卡应屏蔽任何反射光。测试图卡应为光谱中性。

6.11.2 光源

尽量采用多种光源进行相关测试：D65、A 光、TL84、CWF 和 LED。

T/GSMT DZ001-2021

所示：

$$D_c = \max_i D_c(i) \quad \dots \quad (25)$$

6.11.3 测试图卡

测试图卡灰阶块内部的不均匀性应小于预期摄像头噪声级的十分之一，且任何图像结构空间分量的

目前移动端产品的摄像头已经普遍采用光学防抖或电子防抖，中移动也已经把防抖测试作为其手机评价的一项重要指标。特别对于视频拍摄应用，防抖已经成为基本的功能。

6.13.1 测试图卡和条件

主要采用点状图、枯叶图作为测试图卡，分别分析防抖启动后的畸变和纹理细节损失。测试需要采用 5.1.3 中的运动实验系统，最关键的设备是六自由度运动载台。该运动载台支持参数符合一定要求的任意波形的振动，具体运动参数见 5.1.3 的表 2。

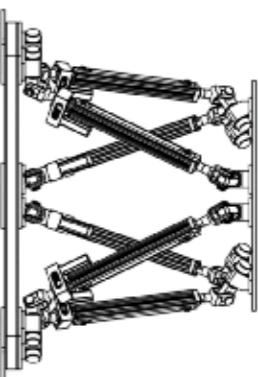


图 30 六自由度运动载台参考图

6.13.2 测量方法

测试终端固定在振动台上的卡具上，保证测试过程中始终随台面运动没有晃动。图卡放置在可前后运动的图卡座上。

对于点状图，参照 6.7.1 畸变测试的要求调整好终端和图卡的位置先完成静态测试。对于枯叶图，参照 6.12.1 纹理模糊测试的要求调整好终端和图卡的位置先完成静态测试。对于枯叶图，以此基础上调用不同的抖动模式（按压拍照键、步行、汽车……）驱动振动台实现运动测试。抖动模式波形需要通过专业的陀螺仪传感器记录并作特征优先后产生。移动终端内置的陀螺仪记录的波形也可参考使用。作相关主观评测时，建议记录相关波形。

测试拍照防抖，先启动振动台，并在每个不同振动持续过程中，控制终端拍摄 5~10 张照片。如果测试设置可以开关，需分别测试开关状态下的影像。

测试视频防抖（通常用于电子防抖）时可以在启动视频记录后，按静态、振动 1、静态、振动 2、静态、振动 3、静态的顺序控制振动台完成完整的运动，而最终获得整体视频用于分析。

测试预览显示的视频（如高速视频记录长度有限，把上述连续测试拆成三段，保持每段振动前后都有静态过程。这样就得到了三段高速测量视频）。

6.13.3 分析方法

通过对比不同抖动波形下和静态图像的畸变和纹理分析结果，判断摄像头的防抖技术是否可以在不同的应用场景都能最大程度的抑制抖动产生的畸变和模糊。视频采用截帧的办法逐帧分析，由于数据分量很大，需考虑自动分析软件。

41

42

T/GSMT D2001-2021

6.12.1 测试条件

6.12.1.1 仪器和硬件

应使用 5.1.2 中所述的静态实验室，枯叶图块区域照度均匀性要高于 90%。

6.12.1.2 测试图卡

具有枯叶图案和 OECF 目标图案的图卡参见 5.2.3.7。

对于不同的摄像头设置组合，可以报告多个纹理模糊测量，包括不同镜头光圈大小（f 数）的设置和摄像头增益的设置。测试应尽量选择手机的缺省设置，自平衡应设置为自动，需关注以下影响因素：摄像头采用自动曝光，但应该保证白色测试目标区域提供接近最大的信号电平的同时，测试图中的中心纹理部分或边缘过渡区域中的信号不出现间断。

移动终端通常包括图像压缩以减小图像文件的大小并允许存储更多图像。使用图像压缩可以显著影响纹理测量。有些相机有开关，允许相机在各种压缩或分辨率模式下工作。可能影响测量结果的所有相机设置值，包括镜头焦距、光圈、分辨率或压缩模式（如可调），应随测量结果一起报告。使用摄像头自动对焦系统的情况下，应保证摄像头拍摄时处于准确对焦状态。具体参见 6.5 自动对焦判别指标。

6.12.2 图像和摄像头设置

分辨率测量通常在摄像头亮度信号上进行。对于不提供亮度输出信号的彩色摄像头，亮度信号应该由颜色记录的适当组合而不是来自单个通道（例如绿色）形成。例如，可以在转换到 CIE 1931 XYZ 颜色空间后使用 Y 通道。

6.12.3.2 伽马校正

表示来自移动设备的图像的信号可能是场景亮度值的非线性函数。由于纹理锐度测量是在线性化输出信号上定义的，并且这种非线性响应会影响纹理锐度值，因此在进行数据分析之前，应对信号进行线性化。线性化是通过查找表或适当的方程将图像颜色空间的逆（例如 sRGB 编码的逆）应用于输出信号来实现的。OECF 的测量应基于 ISO 14524 中的指南，使用纹理模糊目标中的 OECF 图块。

6.12.3.3 带噪声补偿的纹理 MTF

纹理 MTF 计算是捕获的枯叶片的 PSD（即 Fourier 变换的平方模）与理想（参考）枯叶目标的 PSD 之间的比值，然而，成像系统的噪声也可理解为一个枯叶图块，这种噪声会导致虚假的纹理细节测量的提升。为了补偿噪声，可以减去反射率为 50% 的平均的 PSD。

枯叶 MTF 的计算公式如下：

$$MTF = \left[\frac{PSD(image)}{PSD(noise)} \right]^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (29)$$

式中：

$PSD(image)$ —— 用相机拍摄的枯叶照片的 PSD；

$PSD(noise)$ —— 图像中测量的噪声的 PSD；

$PSD(target)$ —— 原枯叶噪声的 PSD。

6.14 动态范围测量

6.14.1 测试范围

本测试项目只针对移动终端摄像头拍照的动态范围测量，拍摄视频的动态范围不在评估范围内。动态范围分别用反射式灰阶图卡和透射式灰阶图卡测量。动态范围的表示方式有 DR 或 DR[dB] 两种方式，见公式 (35) 和公式 (36)：

$$DR = \frac{L_{max}}{L_{min}} \quad \dots \dots \dots \quad (35)$$

式中：

L_{max} —— 被测透视图卡中测得未发生 OECF 的 Y 值溢出的最高灰阶块的亮度值 (cd/m^2)；

L_{min} —— 被测透视图卡中灰阶块的信号比 SNR=1 时的内插灰阶块的亮度值 (cd/m^2)。

6.14.2 测试条件

测试照明：

a) 使用反射图卡测量时，确保图卡表面的照度均匀且至少达到 1000 lx；

b) 使用透射图卡测量时，关闭除了透射灯箱和被测物以外的所有照明，确保暗室效果，即室内照度 ≤ 1 lx，测试灯箱的亮度要符合 5.2.3.8 中的描述，即至少 30000 cd/m^2 ；

c) 照明光源色温：D65 或 D50。

d) 手机拍摄设定：针对手动开关 HDR 功能的手机，在默认模式下测量。手机的拍照模式通常有多种，如照片、广角、夜景、人像、微距等，本测试统一用照片模式在默认设定下拍摄。

6.14.3 测试图卡

采用符合章节 5.2.3.3 的要求反射灰阶图卡，和符合章节 5.2.3.3 及 5.2.3.8 的透射灰阶图卡（包含灯箱）。除了这些基本要求，反射式和透射式灰阶图卡还要符合以下要求：

a) 确保测试图卡的动态范围要超过被测手机的动态范围；

b) 最亮的 4 个灰阶块之间的对数亮度差值 ≤ 2 dB，且均匀分布，如图 (31) 所示；

c) 其它的灰阶块之间的对数亮度差值 ≤ 6 dB，且均匀分布，如图 (31) 所示。

T/GSMT D2001-2021

6.12.3.4 纹理锐度

纹理锐度量通过应用显示设备或打印机 / 纸张的 MTF 和从枯叶目标的数字捕获导出的亮度信号 (L) 的 MTF 来评估纹理锐度量，公式 (30)~公式 (33) 显示了计算锐度的一般形式。

$$Q_r = \frac{A}{A_{ref}} \quad \dots \dots \dots \quad (30)$$

$$A = \int_0^{\infty} MTF_L(v) \times M(v) \times CSF_L(v) dv \quad \dots \dots \dots \quad (31)$$

$$A_{ref} = \int_0^{\infty} CSF_L(v) dv \quad \dots \dots \dots \quad (32)$$

$$CSF_L(v) = a \times v^c \times e^{-bv} \quad \dots \dots \dots \quad (33)$$

式中：

A —— 图像文件亮度信号的纹理锐度；

A_{ref} —— 枯叶图目标亮度信号的纹理锐度；

a —— 系数，为 1；

b —— 系数，为 0.2；

c —— 系数，为 0.8；

v —— 就 CPD 而言的空间频率；

v^c —— 空间截止频率；

$MTF_L(v)$ —— 图像文件亮度信号的 MTF；

$M(v)$ —— 输出端（显示器、打印机等）的 MTF 与观察条件相关；

$CSF_L(v)$ —— 图像文件亮度信号的对比敏感度函数；

在计算纹理 MTF 时，空间频率以循环 / 像素表示，转换成 CPD 取决于特定的观看条件。在式 (29) 中，代入 A 和 A_{ref} ，得到纹理锐度方程，见公式 (34)：

$$Q_r = \int_0^{\infty} MTF_L(v) \times M(v) \times CSF_L(v) dv \quad \dots \dots \dots \quad (34)$$

39

40

附录 D (规范性) 计算纹理强度的步骤

本附录描述了计算灰度图像纹理 MTF 的不同步骤。

D.1 步骤 1：线性化

相机的 OECF 是在纹理区域周围的灰阶图块上测量的。插值（例如分段线性）用于使图像中的灰度成为输入亮度的线性函数。因此，在打印目标时，必须确保打印机的配置文件是正确的，并且 OECF 图块为预期的值。

用于计算 SFR 的四个图块可用于检查图表照明的均匀性。不均匀度低于 10%（线性化后）是可以接受的。

D.2 步骤 2：亮度的计算

根据 IEC 61966-2-1，将线性 sRGB 中的颜色矩阵校正应用于 CIE XYZ。因为相机的 OECF 已经在步骤 1 中反转，所以不需要应用额外的伽马曲线。在亮度通道 Y 上计算估计 MTF。

D.3 步骤 3：纹理的傅立叶变换

在纹理区域裁剪大小为 $N \times N$ 的图块 I。假定 N 为偶数。对于典型的数字图像，采用周期性的图像扩展。图块的功率范围为公式 (D.1)：

$$I^2[m, n] = \frac{1}{N} \cdot \sum_{r=1}^{N/2} \sum_{c=1}^{N/2} J^2[m_r, n_c] e^{-\frac{2\pi i (m_r r + n_c c)}{N}} \quad (D.1)$$

D.4 步骤 4：一维的 FFT 计算

计算所有可能方向上 2D-FFT 的算术平均值，得到一维轮廓，为 UFD。

D.5 步骤 5：噪声补偿

如果图像非常嘈杂，残留的噪声可能会被错误地解释为高频内容。为了消除噪声的影响，在纹理部分周围的 50% 反射图块上测量 NPS。其一维轮廓的计算与步骤 4 相同。该功率范围从纹理部分的功率范围中减去，以去除纹理中的噪声。噪声图块的大小通常比纹理图块小。为了简单起见，我们假设纹理图块的维数是噪声图块的倍数。用 H(r) 表示噪声区的 NPS， $-N/2p+1 \leq r \leq N/2p$ 。对于非整数值，我们用双线性插值法对 H(r) 进行插值。噪声补偿的纹理功率范围为公式 (D.2)：

$$U_{FD}[r] = U_{FD}[r] - U_{NPS}[r] \quad (D.2)$$

T/CSMT DZ001-2021

C.9 应用基于频率的空间滤波

应用基于频率的空间滤波的要点概述如下（详见图 C.4）：

- CSF 逆向滤波函数应根据 2D-FFT 输出的限制进行缩放 (± 0.5 cy/pixel)；
- 如果使用 MATLAB，则利用 ifshift 函数将 dc 点移动到 FFT 输出阵列的中心，从而应用径向 CSF 滤波器；
- 在应用径向 CSF 滤波器之后，使用 ifshift() 函数将直流点恢复到正确的位置，以便进行后续的逆 2D-FFT 操作；
- 为了允许选项，CSF dc 分量为零，应该在运行 2D-FFT 之前移除通道装置，并且在流结束时运行反向 2D-FFT 之后恢复通道装置；
- 如果逆 2D-FFT 的输出包含复数，则应使用其实数部分。

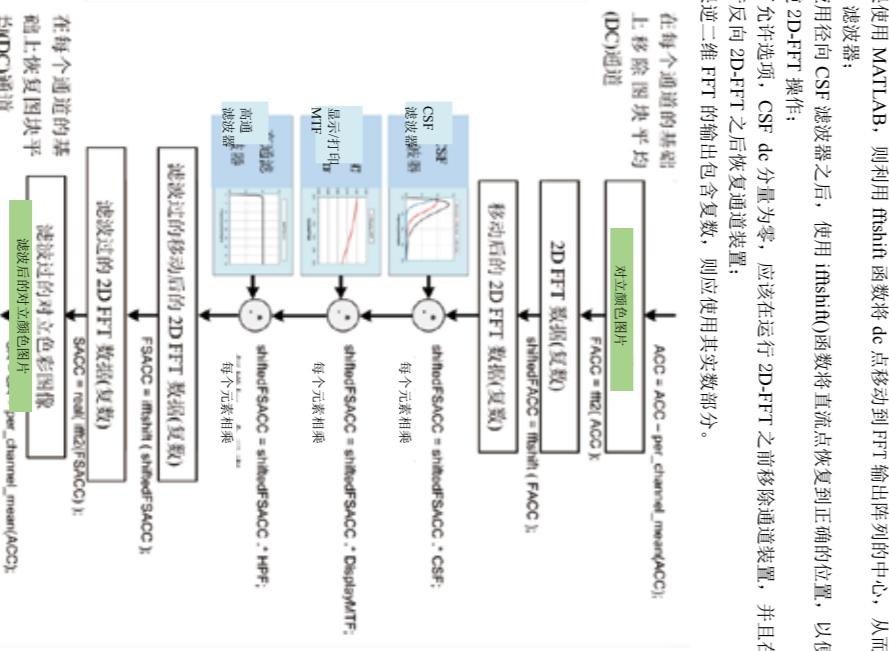


图 C.3 基于频率的高通滤波器

T/CSMT DZ001-2021

C.10 ACC₂对立色彩空间至 CIE XYZ(E)

为了转换回 CIE XYZ 三刺激值， $J = \begin{vmatrix} X_s & 1.0 & 1.0 & 0 \\ Y_s & 0 & 0 & 1 \\ Z_s & 1.0 & 0 & 2.5 \end{vmatrix} \times C_1$ 巨阵。下面给出的逆矩阵，公式(C.11)

$$\begin{vmatrix} X_s & 1.0 & 1.0 & 0 \\ Y_s & 0 & 0 & 1 \\ Z_s & 1.0 & 0 & 2.5 \end{vmatrix}^{-1} = \begin{vmatrix} 1.0 & 1.0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1.0 & 0 & 2.5 \end{vmatrix} \times C_2 \quad (C.11)$$

53

54

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

纹理一维 MTF 根据公式 (D.5) 计算：

N	8	256	512	1 024	2 048					
$\ln(c(N))$	0.245	8	25.880	3	28.531	5	31.195	9	33.870	9

N	$\frac{c(N)}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2}$
8	0.0245
256	0.03827
512	0.05855
1 024	0.08642
2 048	0.10635

$$MTF_{1D}[r] = \sqrt{\frac{U_{FD}[r] - \rho^2 H[r]}{U_{FD}[r]}} \quad (D.5)$$

分子 var 是灰度均匀分布的方差。如果单位是反射率，那么对于反射率介于 0.25~0.75 范围内时，var=1/48。对于 8 位编码的灰度，介于 64~192 范围内时，var=1365。

表 D.1 不同 N 值下 c(N) 的值

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r^2} [m - n]^2} \quad (D.4)$$

常数 η 和 $c(N)$ 仅取决于图卡设计和产物大小。对于选定的图卡设计（磁盘大小的分布）， $\eta = 2$ 。 $c(N)$ 的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N) = \frac{\eta}{\sum_{r=1}^{N/2} \frac{1}{r$$

附录 J
(资料性)

动态范围计算的具体步骤

a) 根据公式 (J.1) 计算每个灰阶块的 OECF 输出 $Y(i)$ 值:

$$Y(i) = R(i) \times 0.2126 + G(i) \times 0.7152 + B(i) \times 0.0722 \dots \dots \dots \quad (J.1)$$

式中:

 i —— 图像阵列中的第 i 个像素; R —— gamma 校正的红色通道; G —— gamma 校正的绿色通道; B —— gamma 校正的蓝色通道。

b) 根据公式 (J.2) 计算每个灰阶块的信噪比 SNR 值:

$$\text{SNR}_i = \left[\frac{L_i \times g_i}{\sigma_i} \right] \dots \dots \dots \quad (J.2)$$

 i —— 图像阵列中的第 i 个像素; σ_i —— 每个灰阶块的输出与输入的亮度均方差。具体见 ISO 15739:2017; L_i —— 每个灰阶块的亮度值, 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2) ; g_i —— 第 i 个灰阶块的增量增益, 见公式 (J.3)

$$g_i = \frac{\frac{Y_i - Y_{(i+1)}}{L_i - L_{(i+1)}} + \frac{Y_{(i-1)} - Y_i}{L_{(i-1)} - L_i}}{2} \dots \dots \dots \quad (J.3)$$

c) 确定 L_{\max} , 如 6.14.1 章节中所述, 通过比较每个灰阶块的 $Y(i)$ 值, 找出 $Y(i)$ 不再上升且最大的灰阶块的亮度值。例如 $Y(1)=248.0, Y(2)=246.3$, 则第 2 号灰阶块的亮度值就为 L_{\max} 。d) 确定 L_{\min} , 理论上 $\text{SNR}=1$ 的灰阶块的亮度值就是 L_{\min} , 但实际上很少正好有这样的情况, 这时就要用插值法算出 $\text{SNR}=1$ 时对应的灰阶亮度值。具体见公式 (J.4) :

$$L_{\min} = \frac{(1 - \text{SNR}_n) \times (L_{(i-1)} - L_n)}{\text{SNR}_{(i-1)} - \text{SNR}_n} + L_n \dots \dots \dots \quad (J.4)$$

式中:

 n —— SNR 从大到小首次 <1 的灰阶块编号; $n-1$ —— 与 n 号灰阶块相邻且 $\text{SNR}>1$ 的灰阶块编号。e) 计算动态范围值: 根据 6.14.1 章节的公式算出 DR 比值或 $\text{DR} [\text{dB}]$ 值。

a) 15%TV 负波畸变

图 1.10 安装网格示例



图 1.8 网格排序——步骤 6

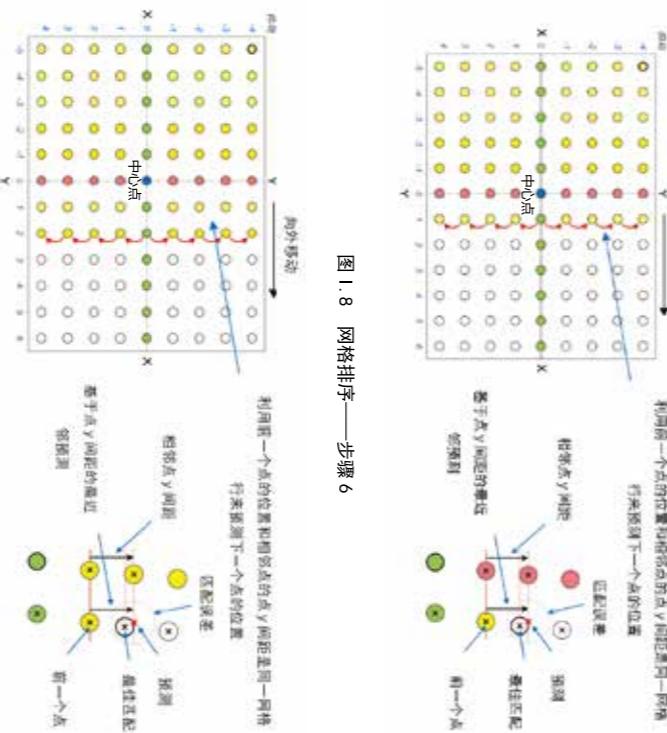


图 1.9 网格排序——步骤 7

图 1.10 为安装网格示例:



