

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

	T/CSMT DZ001-2021	
C.8	高通滤波器(HPF)	50
C.9	应用于频率的空间滤波	51
C.10	AC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> 对立体彩空间至 CIE XYZ(E)	51
C.11	CIE XYZ(E)至 CIE XYZ(D65)	52
C.12	CIE XYZ(D65)至 CIE LAB	52
C.13	目标噪声	52
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) SFR 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

III

## 目次

前言	IV
1 范围	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 测试实验系统	3
5.1.1 评测实验环境通用要求	3
5.1.2 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
6 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
	1

T/CSMT DZ001-2021

T/CSMT DZ001-2021

## 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。

本文件由中国计量测试学会显示产业计量测试联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、北京易诚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 通标标准技术服务股份有限公司、**深圳市盛测技术有限公司**、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：徐英莹、王道宁、陈赤、胡沂涛、郝群、黄勇、沈庆飞、黎俊、陆海雷、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。

IV

6.7.3	数据处理和评判分析	30
6.8	横向色差	30
6.8.1	颜色通道	31
6.8.2	测试条件和方法	31
6.9	色度等级	32
6.9.1	测试条件和方法	32
6.9.2	测量方法	33
6.9.3	色度等级计算与结果	34
6.10	色彩均匀性	34
6.10.1	测试设备与方法	35
6.10.2	图像/相机设置	35
6.10.3	分析方法和结果展示	35
6.11	视觉噪声	36
6.11.1	测试条件和方法	36
6.11.2	图像和相机设置	37
6.11.3	图像拍摄对位	37
6.11.4	摄像头设置	37
6.11.5	数据处理与分析	37
6.12	纹理模糊	38
6.12.1	测试条件	39
6.12.2	图像和摄像头设置	39
6.12.3	测量方法	39
6.13	防抖测试	41
6.13.1	测试图卡和条件	41
6.13.2	测量方法	41
6.13.3	分析方法	41
6.14	动态范围测量	42
6.14.1	测试范围	42
6.14.2	测试条件	42
6.14.3	测试图卡	42
6.14.4	测试步骤	43
附录 A	(规范性) 观察条件与角空间频率转换	44
附录 B	(规范性) 斜边 SFR 算法	46
B.1	基础步骤	46
B.2	修正	46
附录 C	(规范性) 视觉噪声处理	47
C.1	sRGB 至线性 sRGB	47
C.2	线性 sRGB 至 CIE XYZ(D65)	47
C.3	CIE XYZ(D65)至 CIE XYZ(E)	48
C.4	CIE XYZ(E)至 AC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> 对立体彩空间	48
C.5	循环/像素至 CPD	48
C.6	对比敏感方程(CSF)	49
C.7	显示/打印机.MTF	50

II

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配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。  
本文件不适用于专用相机（如单反相机）所拍摄照片的通用图像质量评测。  
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必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，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-白光、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（QE/CTs）测量方法
- ISO 15739 摄影-电子静态图像成像-噪声测量
- ISO 16067-1 摄影-摄影图像用电子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 图形技术和摄影、数码相机（DSC）的颜色特性-第1部分：刺激、计量和试验程序
- ISO 17880 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-sRGB
- IEEE 1858 拍照手机像质标准

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。

1

引 言

本文件比较了多份国际标准化组织（ISO）、国际电气工程师学会（IEEE）标准以及国标中对移动终端和手机数字图像质量的测试方法的规定，其中作为目前最专业、全面的针对手机照相功能建立的国际测试标准，IEEE 1858-2016《IEEE Standard for Camera Phone Image Quality》中包括不同的影像质量指标，提供了手机摄像头的各种专项性能的评价方法。

考虑到国内影像应用随着移动终端产业的快速发展而迅猛扩张，国内相关影像评测的基础方法和扩展应用评价亟待完善和体系化，形成国内移动终端成像性能和质量的评价标准已经成为产业有序竞争和持续发展的关键。基于以上现状，本文件在充分借鉴国内外现有标准成果的基础上，一方面针对基本环境要求和基础测试条件作了详细的描述，建立影像实验室测试环境和使用方法的详细规范，另一方面在涵盖基础测试和专业测试的基础上适当增加了新的应用方向的性能评估。

本文件同时还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，形成主客观相结合的影响质量评价体系，更好地反映消费者体验。

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。

3.2

图像高度 **image height**  
一幅图像短边方向的大小。

3.3

清晰度 **sharpness**  
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。

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）
- CIE1AB: 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）
- CPQ: 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）
- NRS: 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）

2

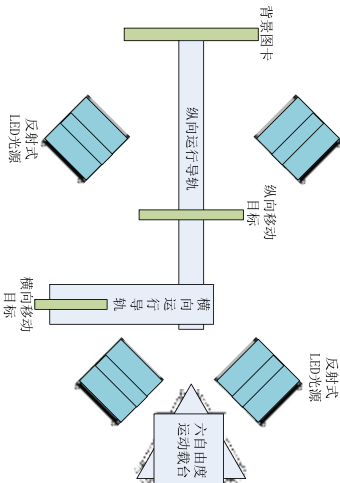


图3 运动仿真测试系统

拍摄手机固定于六自由度运动载台上，其运动方向和速度按定制波形实现，运动载台的具体参数如表2所列。

表2 六自由度运动载台性能要求

参数	范围
最大载重	≥10 kg
平移重复定位精度 (X、Y、Z)	≤0.05 mm
角度重复定位精度 (X、Y、Z)	≤0.05° (0.87 mrad)
行程回差	≤1 mm
位置漂移	≤0.25 mm
XYZ 最大位移	±0.1 m
XYZ 最大速度	±0.6 m/s
平移最大加速度	±10 m/s²
最大移动角度范围 (θ <sub>x</sub> , θ <sub>y</sub> )	20°
最大角速度 (θ <sub>x</sub> , θ <sub>y</sub> , θ <sub>z</sub> )	>60°/s (1047 mrad/s)
最大角加速度	±200°/s²

纵向移动目标（图卡或实物）在纵向运行导轨上，能以不同速度作远离和靠近摄像头的运动。横向运行目标能以不同速度切入和切出画面。横、纵向移动性能要求见表3。

表3 横、纵向移动性能要求

运动参数	范围
纵向图卡最大速度	0 m/s ~ 1.4 m/s
纵向图卡移动范围	500 mm ~ 2000 mm
纵向终端到图卡最近距离	500 mm
纵向图卡最大速度	0 m/s ~ 2.3 m/s
纵向图卡距手机最近垂直距离	250 mm
纵向图卡移动范围	0 mm ~ 1500 mm

反射光源能对运动图卡或实物进行可控照明，可控参数及范围如下：

5

ROI: 感兴趣区域 (Region of Interest)  
SFR: 空间频率响应 (Spatial Frequency Response)  
SNR: 信噪比 (Signal-Noise Ratio)  
sRGB: 标准色域空间的一种 (standard Red Green Blue)

## 5 评测实验室技术要求

### 5.1 测试实验系统

#### 5.1.1 评测实验环境通用要求

测试期间，实验室的环境温度应为15℃~30℃，相对湿度应为20%~80%。为避免周边背景和杂散反射光对于拍摄图卡产生的影响，一般测试需要在不受外部光源影响的封闭环境中进行，周边表面应采用18%中性灰。实验室宜配置不同的光源，实现反射式和透射式两种照明条件，光源应涵盖常用的光谱、色温且亮度可以调整。

根据需要进行测试的具体性能，实验室还需要配置用于不同指标分析的图卡或实物目标并放置于规定的位置，图卡、光源、摄像头不同的位置关系的摆放和运动状态的执行可以通过一套机械装置来整体实现。实验室还需配备照度、色温、温湿度、角度以及距离等基本标准量具以确认并记录相应的测试条件。

#### 5.1.2 静态实验

测试图卡必须安装在光谱中性、18%灰色的背景前。照明光源设计应防止所有测试条件中出现杂散光，即光源的发光部分不应从摄像头位置直接可见。光源和摄像头的位置应尽量减少眩光。摄像头不应在图卡上投下阴影。系统如图1所示。

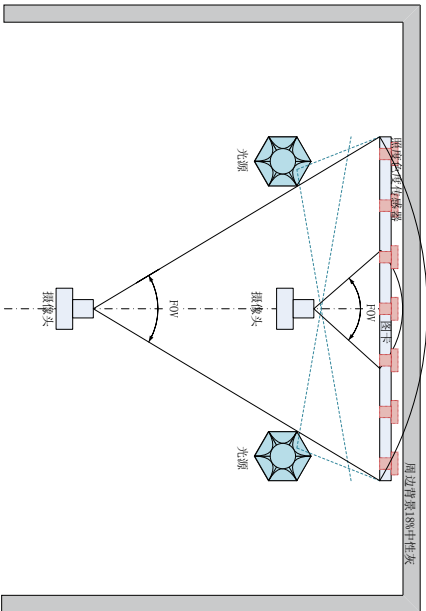


图1 拍摄系统示意图

考虑到十三种不同图卡、八种不同光源以及多台移动终端的高效测试需求，建议使用自动化的客观测试系统见图2。

3

——色温范围：2700 K~6500 K；  
——亮度范围：0.3 cd/m²~17000 cd/m²

## 5.2 图卡配置

不同性能参数的测试需要配置不同的测试图卡，并配合具体分析算法取得合理的测试结果，反映出拍摄过程中可能出现各种像质缺陷。考虑到长期光照褪色、落尘和使用磨损等影响，图卡需要定期计量、校准和更新。

### 5.2.1 平面性

图卡平面性很重要，可以避免在非平坦表面上的聚焦和其他变化引起的伪影。图4为图卡平面度图。

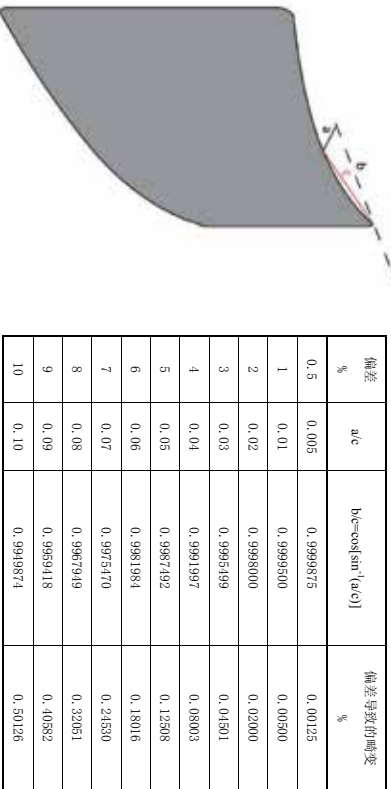


图4 图卡平面度图

如图4所示，图卡的平面度 $\delta$ （百分比）通过公式（1）计算：

$$\delta = \frac{a}{c} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$a$  —— 如图4所示为图卡表面到基准平面最大垂直距离；

$c$  —— 如图4所示为图卡最大变形点到图卡边缘的距离。

参考ISO 17850的分析，为保证几何畸变（LGD）小于0.045%，测试图卡的平面度应在3%以内。

### 5.2.2 图卡对准

测试过程中要求对准，即摄像头的光轴要与图卡面垂直。对于需要测试不同角度性能指标，要在对准的基础上，再进行设置可控的角度和位移调整，此时角度旋转的中心应该是摄像头光心而不是终端的几何中心或其它位置。

对准推荐用点状图或标准的对位图卡。对准也可以使用其它有明确几何中心和周边位置标志的其它图卡，特别注意几何中心要与系统结构光轴（过图像传感器中心）的交点重合，尤其是与畸变和分辨率相关的图卡以上两点对准精度需要控制在±0.5 mm以内。

6

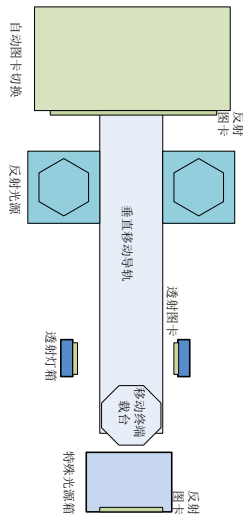


图2 自动客观测试系统示意图

客观测试系统的构建要求包括：

- 保证测试过程中图卡与摄像头光轴垂直，保证较高的角度和位置重复精度。图卡位置和角度精度要求见表1：

表1 图卡位置和角度精度要求

参数	精度要求
图卡安装定位精度	±0.5 mm
终端转台重复定位精度	±0.05°
图卡工作位置的重复精度	X 轴 ±0.5 mm Y 轴 ±0.5 mm Z 轴 ±0.5 mm
图卡工作角度的重复精度	x (俯仰) ±0.04° y (水平) ±0.04° z (前后) ±0.04°

- 不同光源切换通过旋转自动实现，不同光源相对目标的位置完全一致；

- 通过光源、图卡、终端这样的变化顺序实现最高的组合测试效率。

### 5.1.3 动态实验

运动实验模拟实际拍摄过程中，手机摄像头和目标物的相对运动状态，包括运动过程中的振动。测试项目主要包括自动对焦、防抖、背景虚化及其它运动状态拍摄和视频评价需求。组成结构如图3所示。

4



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；  
 $C_{mid}$ ——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/最大密度选项

低对比度斜边目标(调制, 对比)组合 ( $D_{min}/D_{max}$ 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	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69						
0.92	$D_{max}$	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.38	$D_{min}$	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.70
	$D_{max}$	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.31	1.32	1.33	1.34		$D_{min}$	1.20	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.27	1.28
0.89	$D_{max}$	1.03	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.67	0.67	$D_{min}$	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.30
	$D_{max}$	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64		$D_{min}$	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.27
0.85	$D_{max}$	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	$D_{min}$	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.23	1.25
	$D_{max}$	0.61	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58		$D_{min}$	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.21
0.80	$D_{max}$	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55	$D_{min}$	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.20
	$D_{max}$	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53		$D_{min}$	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.15
0.74	$D_{max}$	0.53	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	$D_{min}$	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.15
	$D_{max}$	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48		$D_{min}$	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.11
0.72	$D_{max}$	0.49	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	$D_{min}$	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07	1.09	1.11
	$D_{max}$	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44		$D_{min}$	0.99	0.99	1.00	1.02	1.03	1.04	1.05	1.07
0.68	$D_{max}$	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	$D_{min}$	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40
	$D_{max}$	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40		$D_{min}$	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
0.62	$D_{max}$	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	$D_{min}$	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39
	$D_{max}$	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39		$D_{min}$	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	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（cycles/mm）。在报告摄像头 SFR 之前，需要对该限定图片的 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。

图5示例了国际上手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。

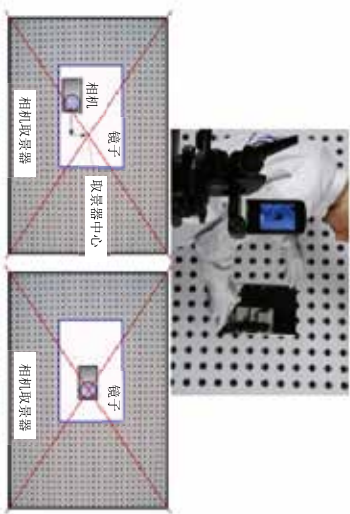


图5 国际上手点状图手工对位方法

### 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速度很快，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 17850, 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 17321, 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)
- 透射式流动态卡 (ISO 21550)

### 5.2.3.1 点状图

测试图包含放置在均匀白色背景上的规则正方形网格上的黑色圆点。图6示例了点状图的排布。点状图可以是反射图卡，在这种情况下，图卡通过前端光源照明；也可以是透射图卡，在这种情况下，图卡由后面的透射式光源照明。  
反射图卡黑点和白色背景的对比度应大于40:1；透射图卡黑点和白色背景的对比度应大于 100:1。点的大小和数量应取决于相机的传感器像素数和视野比例，宽高比为4:3的图像上的点数不应少于 21×15点；宽高比为16:9的图像上的点数不应少于33×19点。  
在测试条件下，每个点的直径应不小于10个传感器像素。  
点的行数 and 列数应为奇数，以便能从中心计算网格。

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相对于极坐标的倾斜可能高达 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 图卡空间频率内容规范

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

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。  
对于大尺寸测试点阵图，应使用斜边正方形，从离图像中心最近的正方形边缘开始，在径向以 4:3 纵横比图像高度的 16.5%的倍数为中心测量 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°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±17.5°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。  
应当有目标自动检测功能。根据使用情况，通常目标被放置在具有特定纵横比的活动区域内。

### 5.2.3.3 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 测试卡应包含一个漫射表面（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：

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

式中：  
 $D_{max}$ ——最暗灰阶块的视觉密度；  
 $D_{min}$ ——最轻灰阶块的视觉密度。

应根据 ISO 5 系列标准 (1-4) 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

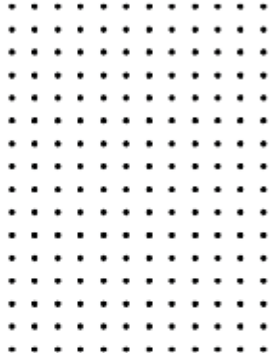


图6 点状图

### 5.2.3.3.2 分辨率图卡

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 图卡描述。图中包含了用于指示 SFR 测量的感兴趣区域 (ROI) 的标记（绿色和红色方块）及其相应的字段位置。

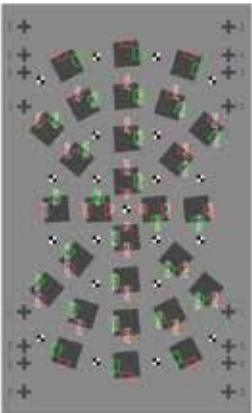


图 7 低对比度多点 SFR 图卡

其中红色和绿色方块表示 ROI 用于 SFR 测量，不属于图卡的一部分。

所有场的位置都与 4:3 目标纵横比的对角线有关。目标包含不同的特征，其特点和应用如下：  
应具有用于图像定位分析的功能图样，如图 7 框架箭头所示，如果特定格式的四个十字中的四分之一在图像中可见，则可获得适当的框架区域作为拍摄时的取景参考。

活动区域（即包含正方形的区域）的平均反射率或透射率应在 0.15~0.25 范围内。建议的图卡宽度大小为 500 mm~1000 mm。

所有斜边正方形的尺寸和边缘 ROI 应足够大，以满足 ISO 12233:2014 的 32×32 像素采样要求。

边缘的调制对比度应在 0.55~0.65 范围内，平均反射率应在 0.12~0.25 范围内。表 4 提供了最小/最大密度对和调制对比度的列表，它们满足公式 (2)：

$$D_{avg} = \log_{10} [10^{(D_{max} - D_{min})} + 10^{(D_{max})^2}] \quad (2)$$
$$调制对比度: C_{mod} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{avg}} \quad (3)$$

表 7（续）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{\min}=0.10$ )					
灰阶	低对比度度		标准反射	正常对比度	
	20:1		80:1	160:1	1000:1
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$
9	1.596	0.792	2.151	1.005	2.540
10	1.671	0.732	2.295	0.921	2.733
11	1.745	0.675	2.439	0.842	2.926
12	1.820	0.621	2.583	0.767	3.118
13	1.894	0.569	2.726	0.696	3.311
14	1.969	0.518	2.870	0.629	3.503
15	2.044	0.470	3.014	0.566	3.696
16	2.118	0.423	3.158	0.505	3.888
17	2.193	0.378	3.302	0.447	4.081
18	2.267	0.335	3.446	0.391	4.273
19	2.342	0.292	3.590	0.338	4.466
20	2.416	0.252	3.733	0.287	4.659
21	2.491	0.212	3.877	0.238	4.851
22	2.565	0.174	4.021	0.190	5.044
23	2.640	0.136	4.165	0.144	5.236
24	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429
背景	0.538		0.740		0.841

表 8 28 灰阶 OECF 卡密度和亮度（最小密度为 0.10）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{\min}=0.10$ )									
灰阶	低对比度度		标准反射	正常对比度		高对比度		超高对比度	
	20:1		80:1	160:1	1000:1	16000:1		16000:1	
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$D_l$
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000	3.100	1.000
2	1.063	1.321	1.123	1.852	1.164	2.106	1.333	2.725	1.896
3	1.127	1.245	1.245	1.717	1.328	1.934	1.667	2.434	2.792
4	1.190	1.174	1.368	1.595	1.492	1.783	2.000	2.197	3.689
5	1.254	1.106	1.490	1.483	1.656	1.647	2.333	1.996	4.585
6	1.317	1.042	1.613	1.380	1.820	1.524	2.667	1.822	5.481
7	1.381	0.980	1.735	1.285	1.984	1.411	3.000	1.669	6.377
8	1.444	0.922	1.858	1.196	2.148	1.308	3.333	1.531	7.274
9	1.508	0.866	1.980	1.113	2.312	1.212	3.667	1.407	8.170
10	1.571	0.812	2.103	1.035	2.476	1.123	4.000	1.294	9.066
11	1.635	0.761	2.226	0.961	2.640	1.039	4.333	1.190	9.962
12	1.698	0.711	2.348	0.891	2.804	0.961	4.667	1.093	10.859
13	1.762	0.663	2.471	0.825	2.968	0.887	5.000	1.003	11.755

表 8（续）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{\min}=0.10$ )									
灰阶	低对比度度		标准反射	正常对比度		高对比度		超高对比度	
	20:1		80:1	160:1	1000:1	16000:1		16000:1	
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$D_l$
14	1.825	0.617	2.593	0.762	3.132	0.816	5.333	0.910	12.651
15	1.889	0.572	2.716	0.701	3.296	0.750	5.667	0.849	13.547
16	1.952	0.529	2.838	0.644	3.460	0.687	6.000	0.766	14.444
17	2.016	0.488	2.961	0.589	3.624	0.626	6.333	0.695	15.340
18	2.079	0.447	3.083	0.536	3.789	0.569	6.667	0.628	16.236
19	2.143	0.408	3.206	0.485	3.953	0.513	7.000	0.565	17.132
20	2.206	0.370	3.328	0.436	4.117	0.461	7.333	0.504	18.029
21	2.270	0.333	3.451	0.389	4.281	0.410	7.667	0.446	18.925
22	2.333	0.297	3.574	0.344	4.445	0.361	8.000	0.391	19.821
23	2.397	0.262	3.696	0.300	4.609	0.313	8.333	0.338	20.717
24	2.460	0.228	3.819	0.257	4.773	0.268	8.667	0.286	21.613
25	2.524	0.195	3.941	0.216	4.937	0.224	9.000	0.237	22.510
26	2.587	0.162	4.064	0.176	5.101	0.181	9.333	0.190	23.406
27	2.651	0.131	4.186	0.138	5.265	0.140	9.667	0.144	24.302
28	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100	10.000	0.100	25.198
背景	0.538		0.740		0.841		1.109		1.514

表 9 32 灰阶 OECF 卡密度和亮度（最小密度为 0.10）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{\min}=0.10$ )											
灰阶	低对比度度		标准反射	正常对比度		高对比度		超高对比度			
	20:1		80:1	160:1	1000:1	16000:1		16000:1			
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$D_l$
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000	3.100	1.000	4.304	
2	1.055	1.331	1.107	1.871	1.143	2.130	1.290	2.768	1.781	3.552	
3	1.111	1.264	1.213	1.751	1.286	1.977	1.581	2.503	2.561	3.079	
4	1.166	1.201	1.320	1.641	1.429	1.839	1.871	2.284	3.442	2.732	
5	1.221	1.141	1.427	1.540	1.571	1.715	2.161	2.096	4.122	2.459	
6	1.277	1.083	1.534	1.446	1.714	1.602	2.452	1.932	4.903	2.233	
7	1.332	1.028	1.640	1.358	1.857	1.498	2.742	1.786	5.684	2.010	
8	1.387	0.975	1.747	1.276	2.000	1.401	3.032	1.655	6.464	1.873	
9	1.442	0.924	1.854	1.199	2.143	1.311	3.323	1.536	7.245	1.724	
10	1.498	0.875	1.961	1.126	2.286	1.227	3.613	1.426	8.025	1.591	
11	1.553	0.827	2.067	1.057	2.429	1.148	3.903	1.326	8.806	1.470	
12	1.608	0.782	2.174	0.991	2.572	1.074	4.194	1.232	9.587	1.359	
13	1.664	0.738	2.281	0.929	2.714	1.003	4.484	1.145	10.367	1.257	

T/CSMT D2001-2021  
方形的近似中心，半径等于显卡高度的三分之一。可在图表上为1:1至16:9的相机纵横比提供框架标识。

在 OECF 显卡中央阶采用等立方根增量是由于从人眼感觉上其趋近于焦平面上的等对数曝光步长。其它的设定是为了模拟平均场景的亮度分布,从而使得测试图像可以代表在拍摄外部平均场景时的效果。

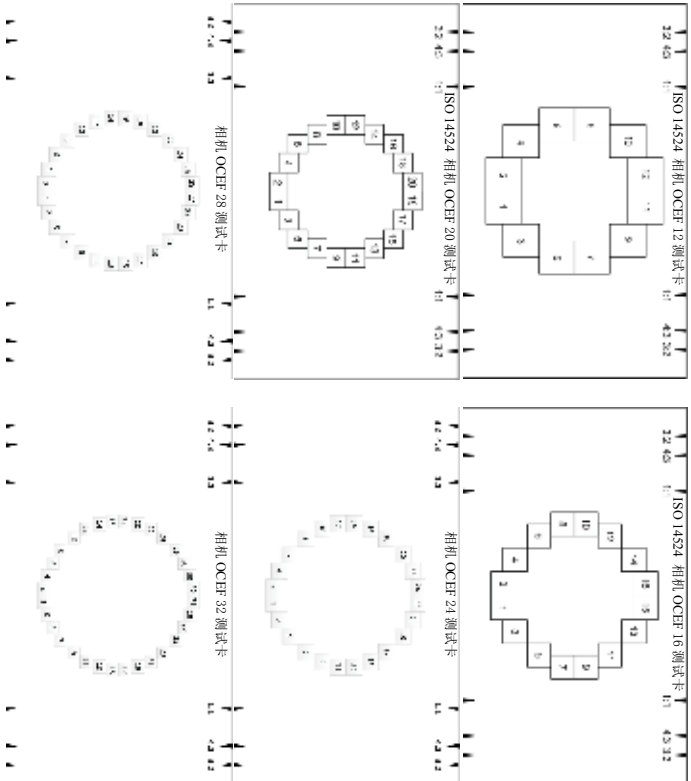


图 8 不同灰阶块的 OECF 测试卡布局示意图

具体构建 OECF 测试图的第一步是确定用于该显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)，可以计算出最大显卡亮度比 ( $\Delta Y_{\max}$ )：

$$\Delta Y_{\max} = 10^{(D_{\max}-D_{\min})} \dots\dots\dots (5)$$

然后选择期望亮度比 ( $\Delta Y$ ) 应该小于等于  $\Delta Y_{\max}$ 。

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

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

然后根据  $Y_l^{1/3}$  值和公式 (7) 计算图块密度 ( $D_l$ )：

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

表 6~表 9 给出了 20、24、28 和 32 灰阶 OECF 卡密度和亮度，图 9 是 20 灰阶显卡的示意图。

表 6 20 灰阶 OECF 卡密度和亮度（最小密度为 0.10）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{\min}=0.10$ )									
灰阶	低对比度度		标准反射	正常对比度		高对比度			
	20:1		80:1	160:1	1000:1	16000:1			
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$D_l$
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000	3.100	
2	1.090	1.288	1.174	1.794	1.233	2.031	1.474	2.595	
3	1.180	1.185	1.348	1.614	1.466	1.806	1.947	2.232	
4	1.271	1.089	1.522	1.455	1.699	1.613	2.421	1.948	
5	1.361	1.000	1.697	1.314	1.932	1.446	2.895	1.715	
6	1.451	0.916	1.871	1.187	2.165	1.297	3.368	1.518	
7	1.541	0.837	2.045	1.071	2.399	1.164	3.842	1.346	
8	1.632	0.763	2.219	0.965	2.632	1.043	4.316	1.195	
9	1.722	0.693	2.393	0.866	2.865	0.933	4.789	1.059	
10	1.812	0.626	2.567	0.775	3.098	0.831	5.263	0.936	
11	1.902	0.563	2.742	0.689	3.331	0.736	5.737	0.824	
12	1.993	0.503	2.916	0.609	3.564	0.648	6.211	0.721	
13	2.083	0.445	3.090	0.533	3.797	0.566	6.684	0.625	
14	2.173	0.390	3.264	0.462	4.030	0.488	7.158	0.536	
15	2.263	0.337	3.438	0.394	4.263	0.415	7.632	0.452	
16	2.353	0.286	3.612	0.330	4.496	0.346	8.105	0.374	
17	2.444	0.237	3.786	0.268	4.730	0.280	8.579	0.300	
18	2.534	0.190	3.961	0.210	4.963	0.217	9.053	0.230	
19	2.624	0.144	4.135	0.154	5.196	0.157	9.526	0.163	
20	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100	10.000	0.100	
背景	0.538		0.740		0.841		1.109		

表 7 24 灰阶 OECF 卡密度和亮度（最小密度为 0.10）

显卡分类/亮度比率 ( $D_{min}=0.10$ )									
灰阶	低对比度度		标准反射		正常对比度		高对比度		
	20:1		80:1		160:1		1000:1		
	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	$Y_{l^{1/3}}$	$D_l$	
1	1.000	1.401	1.000	2.003	1.000	2.304	1.000	3.100	
2	1.075	1.307	1.144	1.828	1.193	2.075	1.391	2.670	
3	1.149	1.220	1.288	1.674	1.385	1.880	1.783	2.347	
4	1.224	1.138	1.432	1.536	1.578	1.710	2.174	2.088	
5	1.298	1.061	1.575	1.411	1.770	1.560	2.565	1.878	
6	1.373	0.988	1.719	1.297	1.963	1.425	2.957	1.688	
7	1.447	0.919	1.863	1.192	2.155	1.304	3.348	1.526	
8	1.522	0.854	2.007	1.095	2.348	1.192	3.739	1.382	



编号	色样	sRGB			CIE L*a*b*			孟塞尔颜色体系	
		R	G	B	L*	a*	b*	色调	明度/彩度
24	黑色	0	0	0	21.227	-0.015	-0.762	N	2/

注：测量条件：D65 照明体，10° 标准色度观察者。

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。

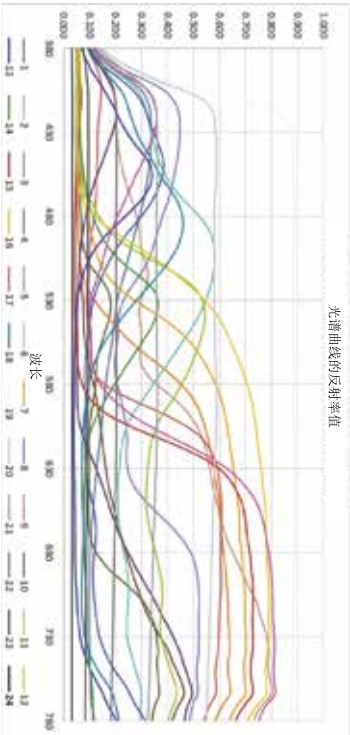


图 11 24 色卡的光谱反射率

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 个色块标包含了经典的 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

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、分辩率卡、分辩率卡、灰阶等。图 13 为实物卡的参考样图。



图 13 实物卡的参考样图

5.2.3.6 人像卡

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。

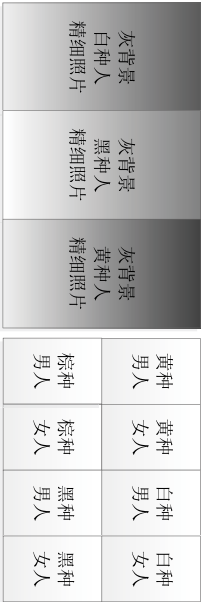


图 14 基础人像卡的示意图

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。

表 9（续）

灰阶	图卡分类/亮度比率 ( $D_{min}=0.10$ )					
	低对比度度		标准反射		正常对比度	
	20:1	80:1	160:1	1000:1	16000:1	超高对比度
14	$Y_{1/2}$	$D_1$	$Y_{1/2}$	$D_1$	$Y_{1/2}$	$D_1$
15	1.719	0.695	2.388	0.869	2.857	0.936
16	1.774	0.654	2.494	0.812	3.000	0.873
17	1.830	0.614	2.601	0.758	3.143	0.812
18	1.885	0.575	2.708	0.705	3.286	0.754
19	1.940	0.538	2.815	0.655	3.429	0.699
20	2.051	0.465	3.028	0.606	3.714	0.594
21	2.106	0.431	3.135	0.514	3.857	0.545
22	2.161	0.397	3.241	0.471	4.000	0.498
23	2.217	0.364	3.348	0.429	4.143	0.452
24	2.272	0.332	3.455	0.388	4.286	0.408
25	2.327	0.300	3.562	0.348	4.429	0.365
26	2.383	0.270	3.668	0.310	4.572	0.324
27	2.438	0.240	3.775	0.272	4.715	0.284
28	2.493	0.211	3.882	0.236	4.857	0.245
29	2.549	0.182	3.989	0.201	5.000	0.207
30	2.604	0.154	4.095	0.166	5.143	0.170
31	2.659	0.127	4.202	0.133	5.286	0.135
32	2.714	0.100	4.309	0.100	5.429	0.100
背景		0.538		0.740		0.841

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。

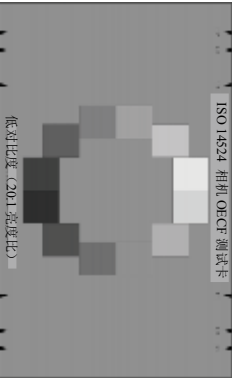


图 9 OECF 图卡示意图

5.2.3.4 色卡

最常使用的色卡是 24 色卡（见图 10），在有限的色块数量中通过优选代表了最常见的色彩。经典的测试色卡有不同的尺寸，最常见的标准型 20.4 mm×29.0 mm 广泛应用于各种摄像头产品的白平衡和色彩还原测试中。



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			CIE 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	65.760	13.644	17.660	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	2.7RP	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	80.868	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/

- 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）；
- 钠光灯光源（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。

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。

考虑到光源经常会采用玻璃及 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的照度和色温测量值。

### 5.3.2 图卡面的照明条件

#### 5.3.2.1 照度、色温监测传感器

测试系统应有用于图卡面的照度、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±5%（1 lx 以上照度）和±10%（1 lx 以下照度）以内，色温表的色温测量误差需在±200 K（>10K 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。

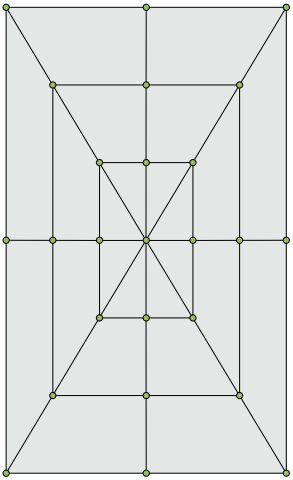


图 19 照明测试点位置参考图

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

### 5.2.3.7 枯叶图卡

枯叶纹理图块基于枯叶模型，该模型的统计数据遵循自然图像中相同的统计分布。目标是通过绘制在平面上相互遮挡的随机形状来获得的，就像从树上掉下来的枯叶。这种“枯叶”图案（参见图 15 中的示例图块），用来测量摄像头系统的纹理细节复现能力。

枯叶图最突出和关键的特性是，当采取它的噪声功率谱（NPS）时，结果遵循有限频率的幂律，如图 16 所示。图 16 显示了功率谱在对数-对数标度中的拟合。与经典线性系统类似，MTF 的平方被定义为输出功率谱（相机看到的枯叶图）和输入功率谱（理论枯叶图）的比值。

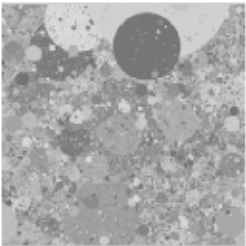


图 15 枯叶纹理图块

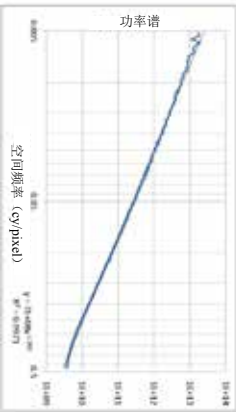


图 16 枯叶纹理图块对应的 NPS-SF 关系

注意图块生成中的细微差异可能导致图表频谱的差异。

完整的细节纹理测试图卡包含两个基本元素：（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，图中的枯叶部分应占垂直视场的 1/4（对于大于 5mp 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容调整光源的亮度来实现合理曝光。

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

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点的平均值或中间值。

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：

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

式中：

- $U_L$  ——照度均匀性；
- $E_{\text{Max}}$  ——不同测量点照度的最大值；
- $E_{\text{Min}}$  ——不同测量点照度的最小值；
- $E_{\text{Avg}}$  ——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）：

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

式中：

- $U_{\text{Ct}}$  ——色温均匀性；
- $CCT_{\text{Max}}$  ——不同测量点色温的最大值；
- $CCT_{\text{Min}}$  ——不同测量点色温的最小值；
- $CCT_{\text{Avg}}$  ——不同测量点色温的平均值。

色温均匀性也可以通过计算最大色差来评价。

照度稳定性则是通过一段时间内相同测量点的照度变化值来评定，见公式（10）、公式（11）：

$$S_{\text{Lt}} = (E_{\text{Max}} - E_{\text{Min}}) / E_{\text{Avg}} \quad (10)$$

$$S_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{\text{Lt}} \quad (11)$$

式中：

$S_{\text{Lt}}$  ——第*t*点的照度稳定性；

$E_{\text{Max}}$  ——第*t*点在不同测量时间得到照度的最大值；

$E_{\text{Min}}$  ——第*t*点在不同测量时间得到照度的最小值；

$E_{\text{Avg}}$  ——第*t*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后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±5%以内。对于反射图卡，最大图卡区域的照明均匀性应≥80%，透射图卡的整个区域的照明均匀性应≥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

$\Delta E(\text{CIE} \text{LAB})$	$\Delta E(\text{CIE} \text{LUV})$	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

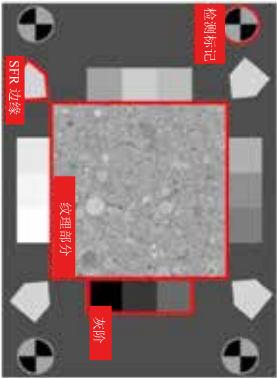


图 17 枯叶图参考样图

### 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。用以测试摄像头在明亮场景的伽马响应、噪声和动态范围。

图 18 为宽动态透射卡参考样图。瞄准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；瞄准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。

宽动态灰阶卡的密度范围需达到 100 dB 以上。

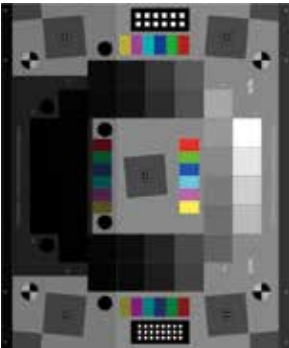


图 18 宽动态透射卡参考样图

### 5.3 照明

#### 5.3.1 光源

ISO 7589-2:2002 针对胶片摄影作出了基础的 D50 和 A 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 D65 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；



6.4 自动白平衡

6.4.1 图卡和条件

根据上述测试原则，自动白平衡测试可以在 5.1.2 的静态实验室完成，具体测试步骤如下。  
不同光谱和色温的光源条件下，测试标准色 24 色卡。分析拍摄图片中各色彩在  $L^*a^*b^*$  色彩空间的色坐标与原始标准色的色差可以得到  $\Delta E^*_{ab}$ 、 $\Delta C^*_{ab}$ （或  $\Delta E^*_{90}$ 、 $\Delta C^*_{90}$ ）以及各中性灰阶的饱和度（S）指标。

色差（ $\Delta E^*_{ab}$ ）由公式（12）计算：
$$\Delta E^*_{ab}=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

式中：

$\Delta L^*$ ——明度差；

$\Delta a^*$ ——红绿色品差（ $a^*$ 轴为红绿轴）；

$\Delta b^*$ ——黄蓝色品差（ $b^*$ 轴为黄蓝轴）。

颜色的彩度（ $C^*_{ab}$ ）由公式（13）计算：

$$C^*_{ab}=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2} \quad \cdots \cdots \cdots (13)$$

式中：

$a^*$ —— $L^*a^*b^*$ 色彩空间上红绿轴坐标；

$b^*$ —— $L^*a^*b^*$ 色彩空间上黄蓝轴坐标。

两颜色的彩度差（ $\Delta C^*_{ab}$ ）由公式（14）计算：

$$\Delta C^*_{ab}=C^*_{a91}-C^*_{a90} \quad \cdots \cdots \cdots (14)$$

式中：

$C^*_{a91}$ ——拍摄图片中的彩度；

$C^*_{a90}$ ——为原始图卡中的彩度。

颜色的色调角（ $h_{ab}$ ）由公式（15）计算：

$$h_{ab}=\arctan(a^*/b^*) \quad \cdots \cdots \cdots (15)$$

两颜色的色调差（ $\Delta H^*_{ab}$ ）由公式（16）计算：

$$\Delta H^*_{ab}=[(\Delta E^*_{ab})^2-(\Delta L^*)^2-(\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2} \quad \cdots \cdots \cdots (16)$$

详细的  $\Delta E^*_{ab}$ 、 $\Delta C^*_{ab}$  计算可参照 ISO 11664-4:2019,  $\Delta E_{90}$ 、 $\Delta C_{90}$  的计算可参照 ISO 11664-6:2014。在标准中性灰背景下通过引入不同比例和颜色的色卡，分析拍摄图片中中性灰的色差变化。

不同光谱、色温的光源条件和纯色背景组合下，结合添加不同比例的中性灰色成分，分析拍摄图片中背景色的色差变化。

6.4.2 数据处理和评判分析

数据处理一般通过专用软件对拍摄的 JPEG 图片进行处理，把其中的相应色块的 RGB 数据转化为  $L^*a^*b^*$  及 HSV 坐标，并与标准数据进行对比，计算  $\Delta E^*_{ab}$ 、 $\Delta C^*_{ab}$ （或  $\Delta E_{90}$ 、 $\Delta C_{90}$ ）的色差数据，而中性色块的饱和度和值就是 HSV 坐标中的 S 值。

总体评判标准：通常情况下  $\Delta E$ 、 $\Delta C$  越小越好，中性色块 S 越趋近 0 越好。

第一项测试是标准的白平衡评价方法，对比的标准数据是图卡本身的  $L^*a^*b^*$  计量值。不同光源下的色差要求是有区别的。D55 模拟光源下的色差最小（ $\Delta C^*_{ab} \leq 3$ ），TL84 光源下的色差稍大（ $\Delta C^*_{ab} \leq 6$ ），

A 光下考虑到与主观感觉一致，白平衡可以偏暖可接受的色差最大（ $\Delta C^*_{ab} \leq 12$ ）。

第二部分的测试可以评价实际场景下目标和背景对白平衡的影响，判断白平衡算法对背景干扰的排

6 光电性能和图像质量测试

T/GSMT DZ001-2021

6.1 拍照模式设置

移动终端针对不同应用场景提供了很多专业的拍照模式，实际的拍摄结果会跟具体的配置选择直接相关，且各种终端的专业模式也不尽相同。

为更公平合理作对比评价并考虑到大多数用户的使用习惯，本文件尽量采用缺省配置或自动模式进行测试。

对于比较公认的一些拍照模式如宽动态、微距等，按本文件标准测试方法进行测试，特别提醒的是，具体的测试结果中需要详细地记录光照条件和启动条件，不能脱离测试条件简单地对比测试结果。

终端特殊模式的像质评价亦可参照本文件方法进行，但需要针对相关模式的操作和测试条件作详细说明，并记录在测试报告文档中。

6.2 软件版本设置

手机摄像头的像质受软件算法和优化参数影响很大，评测中必须明确记录软件版本号。同时针对摄像产品的测试需要使用原厂软件，针对 APP 软件的测试可以使用被测 APP 软件，如需实现自动拍照，需确保相关程序调用的是原厂相机应用而不是平台底层拍照。

6.3 自动曝光

自动曝光是手机拍照的最重要的基础性能，自动曝光的评判依据是指在不同照度和光源配置环境下，实现合理曝光的程度。

6.3.1 图卡选择和光照范围

测试图卡应选择涵盖各种元素的实物台面或实物图卡，参见 5.2.3.5 进行。通过光源在反射图卡上实现最宽范围的照度 0.05 lx~3000 lx。

为模拟阳光场景下更宽的照度范围，宜选择 5.2.3.8 所述的宽动态图卡配透射式光源，进行光源出口 3 cd/m<sup>2</sup>~30000 cd/m<sup>2</sup> 的照明补充测试。具体不同曝光量（EV）值对应的亮度照度可参照表 12（对应 ISO100 感光度）：

表 12 曝光量对应的亮度照度表

曝光量 EV	亮度 cd/m <sup>2</sup>	照度 lx
-4	0.007 812 5	0.156 25
-3	0.015 625	0.312 5
-2	0.031 25	0.625
-1	0.062 5	1.25
0	0.125	2.5
1	0.25	5
2	0.5	10
3	1	20
4	2	40
5	4	80
6	8	160

T/GSMT DZ001-2021

除能力，这时计算的色差是以相同光源下全中性灰的  $L^*a^*b^*$  值为基准。

最后一部分测试有利于分析算法对于场景中存在中性灰的依赖性。对比的基准是纯色背景本身的  $L^*a^*b^*$  计量值。

6.5 自动对焦

自动对焦性能的好坏直接影响成像的解析度和细节，对焦性能包括对焦的准确度，对焦的重复性，对焦速度等不同指标。

对焦性能既受摄像头本身部件性能的影响如对焦马达的速度和阻尼特性、镜头相对孔径和景深，同时也受目标物特性及对焦算法的影响。

通常高对比度目标物对焦比较准确而迅速，低对比度目标则很难对准。同时考虑拍摄目标通常并不是静止的，还要考虑运动状态下的算法和对焦准确性。

6.5.1 图卡和条件

自动对焦可以包含以下三部分：

- a) 采用标准分辨率图卡，在不同距离，不同照度条件下，分别进行 30 次重复性测试，并分析出一系列图像的 MTF 曲线，可以捕获并选择在大约为相机半采样（Nyquist）频率的四分之一的空间频率处 MTF 值最高的图像来确定最大性能  $MTF_{max}$ ；
  - b) 采用枯叶图 and 不同对比度的低反差图卡，分析对焦算法的适应性。同样需要测试不同距离和不同照度条件；
  - c) 运动目标的追焦和异物侵入影响。追焦测试采用枯叶图图卡，设置不同的运动速度（缓动、步行、汽车等）从远到近和从近到远相对手机移动，记录视频，分析细节变化确认追焦性能。异物侵入采用棋盘格图卡以不同速度切入摄像头视野，分析对焦变化，确认异物侵入的对焦反应是否符合设定目标。
- 图 20 为一种自动对焦测试系统示例。



图 20 自动对焦测试系统示例

6.5.2 数据处理和评判分析

使用标准分辨率图卡测试的情况下，总体评判标准：以最大性能的 90%和 80%为限作统计分析，具体判据推荐如下：

- 精确对焦： $MTF \geq 90\%$   $MTF_{Max}$ ；
  - 非精确对焦：80%  $MTF_{Max} \leq MTF < 90\%$   $MTF_{Max}$ ；
  - 对焦失败： $MTF < 80\%$   $MTF_{Max}$ 。
- 具体数据分析以图 21 为例。

T/GSMT DZ001-2021

表 12（续）

曝光量 EV	亮度 cd/m <sup>2</sup>	照度 lx
7	16	320
8	32	640
9	64	1 280
10	128	2 560
11	256	5 120
12	512	10 240
13	1 024	20 480
14	2 048	40 960
15	4 096	81 920
16	8 192	163 840

6.3.2 测试条件与方法

参照表 12 中不同曝光量对应的照度值，在具体测试中选择以下的测试条件和方法。

- a) 选择 LED（5000 K）或 D50 模拟荧光灯进行实物图卡测试，调整光源实现实物卡照面的照度值分别为 0.1 lx、0.2 lx、0.5 lx、1 lx、2 lx、5 lx、10 lx、20 lx、50 lx、100 lx、200 lx、500 lx、1 000 lx。
  - b) 按 5.2.2 要求调整终端姿态进行图卡对准。达标后，前后移动终端保证实物卡充满拍摄画面。
  - c) 每次照度值稳定后，拍摄图片并注明测试条件。
  - d) 需要测试更低照度（0.1 lx 以下）时，通过在摄像头镜头前增加中性减光片实现光照衰减。
  - e) 需要测试宽动态范围时，使用透射式光源和宽动态图卡补充高亮范围的测试条件进行拍摄。
- 在基本测试之外，考虑到真实场景影响自动曝光性能的因素，还应展开逆光、侧光等不同照明状态下的测试，以及在不同光照背景下，存在明确目标物（人脸、二维码等）的情景拍摄。这些测试在真实外景的主观测试中更易实现，具备条件也可以部分在实验室进行，阳光不同照射角度的实验室仿真尚缺乏公认的评判依据。

6.3.3 判别指标和原则

通过分析测试图片得到不同亮度像素数的直方图和目标的亮度值。不同环境照度（或亮度，曝光量）下的图片会有不同的亮度值，进行亮度值归一化，就形成了曝光目标曲线。自动曝光性能的判别就是基于以上的亮度值、直方图和曝光目标曲线：

- a) 亮度值：平均亮度值或目标物亮度处于数字中位附近（一般为 100~150）；
- b) 曝光目标曲线随照度的增加基本平滑上升，没有大的突变；
- c) 数字限定描述：在直方图中，最暗部分或最亮部分的像素没有因过曝或曝光不足出现截止现象，乃至在亮度的最大和最小值上（如 0 和 255）集中出大量像素，可参考专业曝光表测出的直方图做判别对比；
- d) 关键目标物的亮度值：处于目标范围内的像素的平均亮度符合设定，特别对于逆光、侧光等场景，此时可以接受目标范围外的像素出现过曝或全黑的情况，但这些像素的占比不应超过三分之一。



c——常数 0.8。  
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)：

$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} SFR(v) M(v) CSF(v) dv}{16.88} \dots\dots\dots (19)$$

附录 A 中描述了将 SFR 数据转换为 CPU 的过程，该过程是以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。

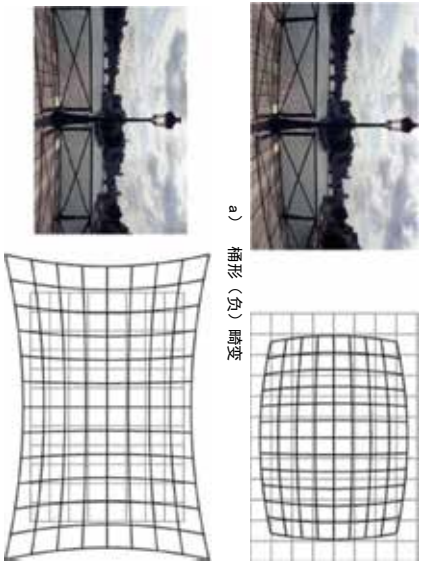


图 22 两种主要的畸变

6. 7. 1 测试条件和方法

6. 7. 1. 1 光源

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；
- 对焦距离；
- 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。颜色通道之间的畸变差异包含在色位移度量中，因此不在这里进行处理。

6. 7. 1. 3 测试图卡

使用 5. 2. 3. 1 中描述的点状图。LGD 通过测量规则的网格位置上的黑点的间距得到。由于镜头存在倾斜或偏心，对于移动设备的 LGD 可能并不是径向对称的，但本测试中，假设 LGD 是径向对称的。

6. 7. 2 测试步骤

点状图必须现场范围内。因此，点的大小和间距必须适应相机像素计数和现场，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。

6. 7. 3 数据处理和评价分析

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。

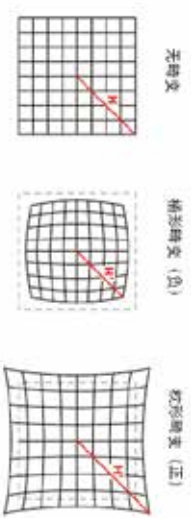


图 23 局部几何畸变定义

LGD 表示为公式 (20)：

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

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，然后将畸变绘制为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. 8 横向色差

横向色差 (LCD) 是由于不同波长的光被透镜放大到不同的水平（不同的波长聚焦在焦平面的不同位置）。LCD 最显著的表现是在图像的锐边周围出现彩色条纹，通常 LCD 在场的边界上更明显。对于单个透镜，LCD 通常是径向对称的。对于移动设备光学元件，由于不同光学元件和传感器平面之间的偏心和倾斜，LCD 并不总是径向对称。同理，本测试中假设 LCD 是径向对称的。

然而，测量 OECF 是一个相对复杂的过程，可以通过观察非线性性的伽马 (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 CIE XYZ 的一部分，因此在这种情况下不需要进一步线性化。其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 CIE XYZ 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。

对焦应设置为自动对焦，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。

6. 6. 4 锐度计算

SFR 作为过渡测量可以获得锐度。锐度 (Q) 由公式 (17) 计算：

$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} SFR(v) M(v) CSF(v) dv}{\int_0^{\infty} CSF(v) dv} \dots\dots\dots (17)$$

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)：

$$CSF(v) = a v^p e^{-b v} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

a ——常数 1；

b ——常数 0.2；

6.9.1.3 相机设置

将相机设置为最小增益（如有可能），以尽量减少噪声。白平衡、曝光和颜色饱和度设置必须设置为自动。所有特殊颜色模式或色调模式应停用或设置为自动。压缩应设置为最小（如有可能），或者将图像质量设置为最大（如有可能）。

6.9.1.4 影响因素

某些相机设置或拍摄参数可能会影响结果，应与结果一起报告。这些因素包括：

- 色度空间（SRGB、DCI-P3等）；
- 光源；
- 光照水平；
- 白平衡模式。

6.9.2 测量方法

目标应位于图像框的中心。建议图卡约占垂直视场的三分之一，以确保曝光计量平衡，每个贴片至少占用8×8像素阵列。剩余的视场应光谱中性，即被18%灰色背景包围。

图26显示了推荐的框架示例。

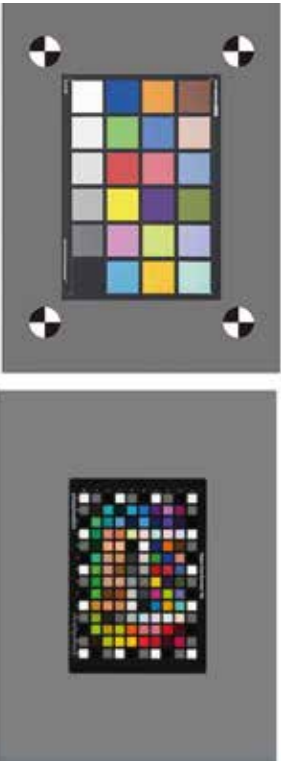


图 26 推荐框架示例

24 色卡中最下面一行的中性灰部分更多反映白平衡性能，色度测量主要使用前 3 行。  
140 色卡的 140 个单独的色块也存在大量的中性色块，为防止色度发生偏差，使用推荐色块子集米计算色度级别。

下列色块不在色度水平的任何测量中：A1~A10、B1、B10、C1、C10、D1、D10E1、E5、E6、E10、F1、F5、F6、F10、G1、G5、G6、G10、H1、H5、H6、H10、I1、I5、I6、I10、J1、J5、J6、J10、K1、K10、L1、L10、M1、M10、N1~N10。

图 27 显示了在标准数字色度卡 SG 设计中以红色突出显示的被排除的色块。

6.8.1 颜色通道

LCD 主要是由于透镜内部的光折射造成的，LCD 表现为点光源在图像中的位置随波长的变化。

在红-绿-蓝三色激励（RGB）图像中，LCD 的特点是三个通道的位置不同。绿色（G）通道通常用作参考。红色（R）和蓝色（B）通道的相对位置应相对于 G 进行测量。在径向对称 LCD 的近似值中，能够得到径向 R、G 和 B 之间的距离，如图 24 所示。

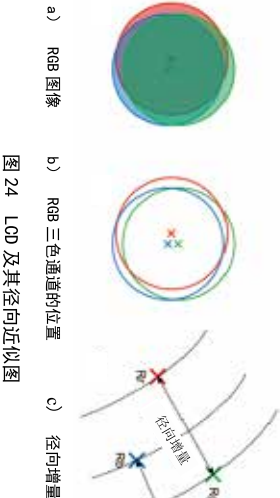


图 24 LCD 及其径向近似图

6.8.2 测试条件和方法

应使用 5.1.2 中描述的静态实验室，光源使用 D65 照明，图卡使用点状图。指定的光源应具有所有波长的能量，确保 LCD 测量时，图像在三个主色通道中都具有能量。

6.8.2.1 图像/相机设置

将相机设置为最小增益（如果可能），以尽量减少噪声。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。压缩应设置为最小（如果可能）。

某些相机设置或拍摄参数可能会影响结果，应与结果一起给出。例如：焦距（用于可变焦距透镜）、与物体的距离。

LCD 本质上取决于波长。因此，测量结果不仅与透镜的光学特性有关，而且还取决于传感器的光谱响应。测量所用的光源对测量结果也有一定的影响，应一并给出以便有更好的重复性。

6.8.2.2 测试方法与结果

镜头对准点状图，点状图必须充满视场。因此，点的大小和间距应与相机像素数和视场相适应，以便至少能看到 300 个直径为 10 像素的点。

- 测量包括：
  - 提取点；
  - 精确定定每个颜色通道点的中心位置；
  - 绘制红色和蓝色通道上点相对于绿色通道径向位置差，作为绿色通道径向位置的函数。
- 通过三阶多项式拟合这些轮廓，给出整个图像场中红色和蓝色通道的最差情况（以较差的为佳）。图 25 为横向色差测量及三次多项式的最佳拟合结果示例。

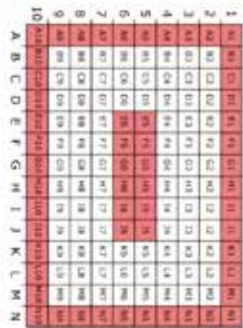


图 27 数码调色器 SG 排除的色块图

6.9.3 色度等级计算与结果

平均色度水平计算是来自捕获图像的测量数据与参考数据之间的平均色度比率的百分比值。该计算在 CIELAB 空间中进行，所有数据应转换到该空间中。

色度定义为 CIELAB 空间中颜色与 L\*轴（通常表示为 Z 轴）之间的欧几里德距离。

一旦测量数据转换到 CIELAB 空间，平均色度可通过公式（21）、公式（22）计算：

$$C_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{a_{ui}^2 + b_{ui}^2} \quad (21)$$

$$C_R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{a_{Ri}^2 + b_{Ri}^2} \quad (22)$$

式中：

- $a_{ui}$  —— CIELAB 的  $a^*$  在第  $i$  点测量数据的值；
  - $b_{ui}$  —— CIELAB 的  $b^*$  在第  $i$  点测量数据的值；
  - $a_{Ri}$  —— CIELAB 的  $a^*$  在第  $i$  点参考数据的值；
  - $b_{Ri}$  —— CIELAB 的  $b^*$  在第  $i$  点参考数据的值；
  - $N$  —— CIELAB 数的三倍；
  - $C_M$  —— 测量数据的平均色度；
  - $C_R$  —— 参考数据的平均色度。
- 色度水平（ $CL_{sg}$ ）可以由公式（23）计算：

$$CL_{sg} = \frac{C_M}{C_R} \times 100 \quad (23)$$

6.10 色彩均匀性

图像中的色彩变化可能由多种因素引起，主要包括互补金属氧化物半导体（CMOS）微透镜光学接受角和透镜在 FOV 上方的主光线角（CRA）之间的不匹配、空间变化的光谱透过率与红外抑制滤波器的差异性（通常在截止波长处最显著）以及传感器固有的光谱灵敏度的差异等。通过图像处理进行校正，可以减少一致的、系统的变化，但是由于场景光谱变化以及其他因素，仍然会存在残留的颜色变化。

色彩均匀性的测量，定义了用于评估颜色不均匀性的测试场景以及指定照明和曝光条件，提出了量化颜色变化幅度的分析方法，指出了不同程度的颜色不均匀性的主观影响。

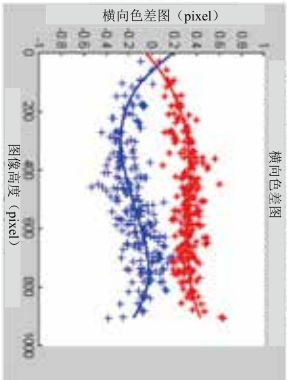


图 25 横向色差测量及三次多项式的最佳拟合结果示例

点的位置对噪声和模糊非常敏感，因为这两种退化都会破坏点的边界。光线和彩色阴影也会导致点检测的变化。如果 LCD 非常强，则圆点的边缘也会模糊（取决于传感器的光谱响应）。具体的横向色差计算方法详见附录 G。

6.9 色度等级

6.9.1 测试条件和方法

应使用 5.1.2 中描述的静态实验室，光源使用一种或多种光谱标准光源，图卡使用 24 色卡或 140 色卡，照度等级用照度计监测。

6.9.1.1 光源

光源应按照 5.3 所述进行配置。本文件推荐多种光源：TL84、D65、A 光和 LED 光源。也可使用符合 ISO 7589:2002 规定条件的任何标准 D 光源，所用光源类型应随测试结果一起给出。

注：由于主观模型的原因，不同的光源，色卡的标准色坐标会有所不同，所以计算相应光源下的色度水平时，仅作为一个客观指标。

6.9.1.2 测试图卡

采用 6×4 的 24 色卡或 14×10 网格阵列排列的 140 色卡。单个色块被识别为代表自然物体，如人类肤色、树叶和蓝天等，以及红绿蓝黄品青等标准色。图卡应从专业制造商或计量部门处获得并包括具体色块在标准光源下的色坐标，以确保测试的准确性。目标周围的背景应该是光谱中性，即 18% 的灰色墙壁。

由于测试需要使用目标图卡的实际数据作为参考数据，最好是通过使用分光光度计或分光辐射计来测量相关图卡的实际数据。如果图卡做到了定期校准，也可以使用标准数据或最近计量的数据来作为参考数据分析。



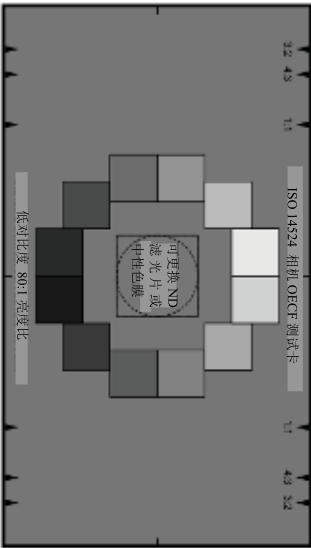


图 28 ISO 14524 12 灰阶块 OECF 测试目标说明

注 1：图块最小成像尺寸为 64×64 像素。  
注 2：不得使用半色调图案印刷的透射 OECF 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 图像拍摄对齐

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线大致平行。

### 6.11.4 摄像头设置

测试应尽量选择手机的缺省设置。  
曝光应选择自动曝光模式。

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。  
摄像头白平衡应设置为自动。

### 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水平可以通过计算每个通道的标准差来评估。

因此，用来计算  $m$ ,  $m_L$ ,  $m_C$  的具体公式如公式 (26)～公式 (28) 所示。

$$m_L = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sigma(L_i)} \quad (26)$$

$$m_C = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sigma(C_i)} \quad (27)$$

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^3 [\sigma(L_i) + \sigma(C_i) + \sigma(B_i)]} \quad (28)$$

$$\dots\dots\dots (28)$$

式中：

- $m_L$  ——亮度视觉噪声；
- $m_C$  ——色度视觉噪声；
- $m$  ——视觉噪声\*\*；
- $L_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素亮度值；
- $\sigma(L_i)$  ——亮度值的标准偏差；
- $u_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素Luv空间色度坐标的u值；
- $\sigma(u_i)$  ——色度坐标的u值的标准差；
- $v_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素Luv空间色度坐标的v值；
- $\sigma(v_i)$  ——色度坐标的v值的标准差；
- $R_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素RGB空间的R值；
- $\sigma(R_i)$  ——R值的标准差；
- $G_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素RGB空间的G；
- $\sigma(G_i)$  ——G值的标准差；
- $B_i$  ——图像文件中同一色块上不同像素RGB空间的B；
- $\sigma(B_i)$  ——B值的标准差。

### 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捉到的信息。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) 是经过去噪声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。



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 中描述的树叶图测试卡，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。

所示：

$$D_2 = \max_i D_2(i) \quad (25)$$

### 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。

除了噪声本身的大小，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。
- 影响系统曝光的参数也会影响最终图像中的亮度和/或色度；
  - 照明光谱含量：CCT 决定白平衡；
  - 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锐化算法也会影响视觉噪声。

### 6.11.1 测试条件和方法

#### 6.11.1.1 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度改变 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±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±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±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。

### 6.11.1.2 光源

尽量采用多种光源进行相关测试：D65、A 光、TL 84、CWF 和 LED。

### 6.11.1.3 测试图卡

测试图卡来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

### 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/m²，目标电平为 100 cd/m²。

反射图卡的材料应为高反射率（>90%）哑光表面，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/m²～100 cd/m²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，以避免杂散光造成的伪影，并更好地满足照明测试条件。为避免环境反射光带来的影响，需要在暗室进行测试，并具有足够大的遮光屏蔽系统避免来自周围环境和摄像机对图卡的反射。

为了避免在光源与颜色校正滤波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/m²，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；
- TL 84。

提供至少 92%均匀度的照明。

日光（D65）和 A 光灯都含有很强的近红外（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也会出现明显的色差，这可能是由于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。如果曝光调谐可用，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 46～54 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 CIE LAB 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 CIE LAB 颜色空间。取参考白点的绝对值，例如 Y=100，并在测量报告中给出。

色差分析，首先通过计算第  $i$  个像素块的平均  $a^*(i)$  和  $b^*(i)$  坐标，然后使用块平均值计算整个图像的总平均  $\bar{a}$  和  $\bar{b}$ 。第  $i$  个块的偏差定义为公式（24）：

$$D_2(i) = \sqrt{[\bar{a}^*(i) - \bar{a}]^2 + [\bar{b}^*(i) - \bar{b}]^2} \quad (24)$$

最后，将与总体平均值的最大偏差作为颜色差异的度量。 $D_2$ 是最大颜色不均匀性，如公式（25）

目前移动终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。测试需要使用 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。

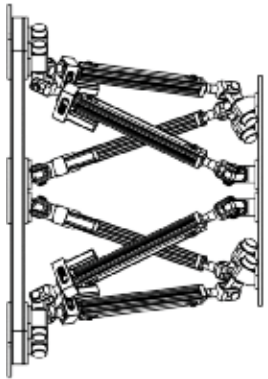


图 30 六自由度运动载台参考图

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。记录下这一原始位置，在此基础上调用不同的抖动模式波形（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选后产生。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。如果防抖设置可以开关，需分别测试开关状态下的影像。

测试视频防抖（通风常用于电子防抖）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。

测试预览状态的防抖（通常用于光学防抖）时，则需要振动台上固定高速相机瞄准终端的显示器记录预览显示的视频，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，由于数据分析量很大，需考虑自动分析软件。

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）：

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

$$DR[dB]=20\times\log_{10}\left(\frac{L_{max}}{L_{min}}\right) \dots\dots\dots (36)$$

式中：

$L_{max}$ ——被测试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（ $cd/m^2$ ）；

$L_{min}$ ——被测试视图卡中灰阶块的信噪比 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，关闭除了透视图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：针对可手动开关 HDR 的手机，分别测量 HDR 设置为关闭、开启及自动的测试结果。针对无手动开关 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）。除了这些基本要求外，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。

假设噪声与枯叶图像无关，可以将无噪声图像的 PSD 与噪声的 PSD 简单相加。分子中的两个项都是根据图像计算的，而分母只取决于图像大小，可以离线计算。假设图像强度在线性域内。完整程序和计算细节见附录 D。

需要注意的是终端摄像头已经普遍使用降噪算法，这些摄像头会根据区域的图像内容对其应用不同的降噪方法，这可能会导致有问题的结果。因为该测试会根据图卡均匀区域中存在的噪声的测量结果，来消除纹理区域中的噪声影响，经过不同的降噪处理后，均匀区域显示的噪声功率谱密度（PSD）可能与纹理区域中的噪声不同。应用锐化处理的相机摄像头由于产生了夸大纹理的伪影也会影响枯叶图的测量值。因此，公式（28）的结果可能会产生误导性的结果。

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。

$$Q_L=\frac{A}{A_0} \dots\dots\dots (30)$$

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

$$A_0=\int_0^{\infty}CSF_L(v)dv \dots\dots\dots (32)$$

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

式中：

$A$ ——图像文件亮度信号的纹理锐度；

$A_0$ et——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

$v^f$ ——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、打印等）的 MTF 与观察条件相关；

$CSF(v)$ ——图像文件亮度信号的对比敏感度函数；

$CSF_L(v)$ ——枯叶图目标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  $A_0$ et 得到纹理锐度方程，见公式（34）：

$$Q_L=\frac{\int_0^{\infty}MTF_L(v)\times M(v)\times CSF_L(v)dv}{16.88} \dots\dots\dots (34)$$

这里，是根据枯叶目标亮度信号得到的 MTF。

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。

6. 12. 2 图像和摄像头设置

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，白平衡应设置为自动，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，测试图的中心纹理部分或边缘过渡区域中的信号不出现中断。

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模糊测量。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. 3 测量方法

6. 12. 3. 1 亮度和颜色测量

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度量的提升。为了补偿噪声，可以减少反射率为 50% 的平场的 PSD。

枯叶 MTF 的计算公式如下：

$$MTF=\frac{PSD(image)-PSD(noise)}{PSD(target)}^{1/2} \dots\dots\dots (29)$$

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。









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 SFPR 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×N 的图块 1。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)：

$$P(u,v)=\sum_{x=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}}\sum_{y=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}}f(x,y)e^{\frac{2\pi i(xu+yv)}{N}}\dots\dots\dots(D.1)$$

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 UID。

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(u)表示噪声区的 NPS，-N/2p+1≤u≤N/2p。对于非整数值，我们用双线性插值法对 H(u)进行插值。噪声补偿的纹理功率范围为公式 (D.2)：

$$U(u,v)=U_{(u,v)}-e^{\frac{2\pi i}{N}}H\left[\frac{r}{N}\right]\dots\dots\dots(D.2)$$

D.6 步骤 6：理想图卡功率范围归一化

理论图卡的功率范围为公式 (D.3)：

$$T(u,v)=\frac{c(u,v)}{p^2}\dots\dots\dots(D.3)$$

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），η=2。c(N)的值根据公式 (D.4) 计算：

$$c(N)=\frac{var}{\sum_{i=1}^N\frac{1}{x_i^2}}\times\frac{1}{\frac{1}{x_i^2}}\dots\dots\dots(D.4)$$

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 给出了不同 N 值下 c(N)的值，η=2，var=1365。

表 D.1 不同 N 值下 c(N)的值

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

纹理一维 MTF 根据公式 (D.5) 计算：

$$MTF_x(f_x)=\sqrt{\frac{U_x(u,v)-e^{\frac{2\pi i}{N}}H\left[\frac{r}{N}\right]}{T(u,v)}}\dots\dots\dots(D.5)$$

..... (C.11)

C.11 CIE XYZ(E) 至 CIE XYZ(D65)

对于空间滤波图像的观察，首先将 CIE XYZ 变换为线性 sRGB 数据，然后再变换为 sRGB 数据。第一步的矩阵参见公式 (C.1)。

$$\begin{bmatrix} X_{sRGB} \\ Y_{sRGB} \\ Z_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.95313 & 0.02661 & 0.02192 \\ 0.013827 & 1.02885 & 0.00962 \\ 0.00261 & 0.00305 & 1.08349 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.12)$$

注：如果 XYZ 三刺激值中的任何一个值≤0.0，则它们将被剪裁为零。

C.12 CIE XYZ(D65) 至 CIELAB

CIE 最近更新了将三刺激值转换为 CIELAB 颜色空间的方程式。白点为 D65（XYZ = [0.9504, 1.000, 1.0891]）。

更新的 CIE L\*a\*b\*方程为公式 (C.13)：

$$L^* = \left[ \frac{116}{1+\epsilon} \sqrt{\frac{Y}{Y_n}} - \frac{Y}{Y_n} \right] \times \frac{Y}{Y_n} \dots\dots\dots(C.13)$$
$$a^* = \frac{1}{116} \left[ \frac{24}{1+\epsilon} \sqrt{\frac{X}{X_n} - 1} - 1 \right] \times \frac{X}{X_n} \dots\dots\dots(C.14)$$

a\*和 b\*的方程为公式 (C.14)：

$$b^* = \frac{1}{116} \left[ \frac{24}{1+\epsilon} \sqrt{\frac{Z}{Z_n} - 1} - \frac{Z}{Z_n} \right] \times \frac{Z}{Z_n} \dots\dots\dots(C.15)$$

CIE Pub 15.3 中对于 a\*和 b\*的更新，如果 X/Xn、Y/Yn 或 Z/Zn 小于 (24/116)³，比值将替换为公式 (C.15)：

$$\frac{a^*}{X_n} = \frac{Y}{X_n} \times \frac{Z}{Z_n} \leq \frac{24}{116}^3 \dots\dots\dots(C.16)$$

C.13 目标噪声

最终的目标噪声是 L\*, a\*, b\* 的方差与 L\*a\*协方差的加权和对的以 10 为底的对数。见公式 (C.16)。

..... (C.16)

注 1：L\*a\*方程中的 1.138 应替换为 1.13852941。  
注 2：对噪声的感知大约是高于阈值的对数。

C.10 AC0G3 对立体色彩空间至 CIE XYZ(E)

为了转换回 CIE XYZ 三刺激值，B 矩阵。下面给出的逆矩阵，公式(C.11)

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 0 \\ 1.0 & 0 & 0 \\ 1.0 & 0 & 2.5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.11)$$

图 C.3 基于频率的高通滤波器

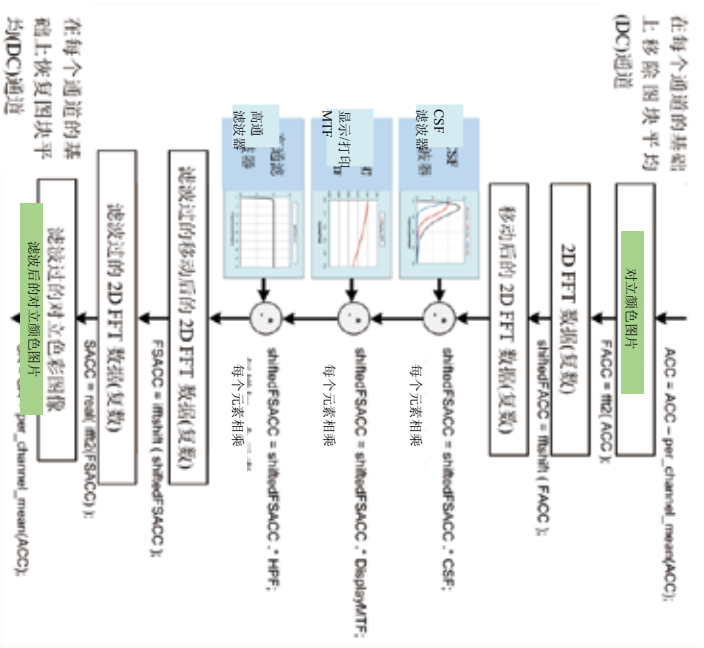


图 C.4 应用 CSF 滤波器和显示/打印机 MTF（参照 IEEE1558）

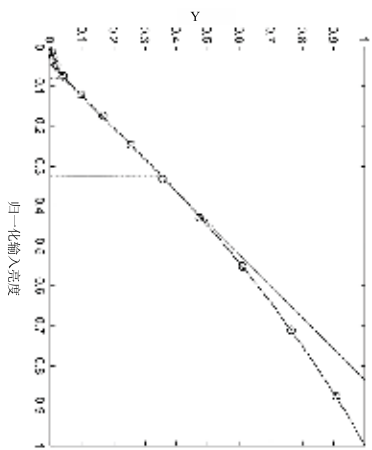


图 F.2 sRGB 伽马曲线反转后的线性偏差图示

水平线和垂直线对应于边缘调制为 0.6 的暗部和亮部的值, 以及对应于密度为 0.7 的穿过边缘的平均反射率。虚线是在边缘反射率范围内与数据的线性拟合。

附录 G  
(资料性)  
横向色差的计算方法

G.1 横向色差的理论计算

LCD 是在一个均匀的白色背景上的黑点目标上测量的。目标规格见 6.8.1, 对于每个 R 和 B 通道, 在每个点上测量相对于 G 通道的径向位置差, 并绘制 G 通道到图像中心距离的函数。

像素的径向色差 ( $\Delta R_{\text{Radial},j}$ ,  $\Delta B_{\text{Radial},j}$ ) 可通过公式 (G.1) 和公式 (G.2) 计算:

$$\Delta R_{\text{Radial},j} = \sqrt{(G_{0j})^2 + (G_{0j})^2} - \sqrt{(R_{0j})^2 + (R_{0j})^2} \dots\dots\dots (G.1)$$

$$\Delta B_{\text{Radial},j} = \sqrt{(G_{0j})^2 + (G_{0j})^2} - \sqrt{(B_{0j})^2 + (B_{0j})^2} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中:

- $R_{0j}$  —— 红色通道的圆点中心与图像中心的水平距离;
- $R_{vj}$  —— 红色通道的圆点中心与图像中心的垂直距离;
- $G_{0j}$  —— 绿色通道圆点的中心与图像中心的水平距离;
- $G_{vj}$  —— 绿色通道圆点的中心与图像中心的垂直距离;
- $B_{0j}$  —— 蓝色通道的圆点中心与图像中心的水平距离;
- $B_{vj}$  —— 蓝色通道的圆点中心与图像中心的垂直距离。

像素的相对径向色差 ( $\Delta R_{\text{Radial},j}$ ,  $\Delta B_{\text{Radial},j}$ ) 由图像的对角线长度与径向色差的比值得到的, 可通过公式 (G.3) 和公式 (G.4) 计算:

$$\Delta R_{\text{Radial},j} = \frac{\sqrt{(G_{0j})^2 + (G_{0j})^2} - \sqrt{(R_{0j})^2 + (R_{0j})^2}}{\sqrt{H^2 + V^2}} \times 100\% \dots\dots\dots (G.3)$$

$$\Delta B_{\text{Radial},j} = \frac{\sqrt{(G_{0j})^2 + (G_{0j})^2} - \sqrt{(B_{0j})^2 + (B_{0j})^2}}{\sqrt{H^2 + V^2}} \times 100\% \dots\dots\dots (G.4)$$

式中:

- $R_{0j}$  —— 红色通道的圆点中心与图像中心的水平距离;
  - $R_{vj}$  —— 红色通道的圆点中心与图像中心的垂直距离;
  - $G_{0j}$  —— 绿色通道圆点的中心与图像中心的水平距离;
  - $G_{vj}$  —— 绿色通道圆点的中心与图像中心的垂直距离;
  - $B_{0j}$  —— 蓝色通道的圆点中心与图像中心的水平距离;
  - $B_{vj}$  —— 蓝色通道的圆点中心与图像中心的垂直距离;
  - $H$  —— 水平方向的输出像素的数量;
  - $V$  —— 垂直方向的输出像素的数量。
- 红色和蓝色通道以同样的方式命名。图 G.1 为一个示例。

附录 E  
(资料性)  
SFR 数据流程

由于任何给定的数字捕获设备都没有唯一的 SFR, 因此本附录旨在提供关于从摄像机视野 (FoV) 中提取多个 SFR 数据源并将其转换为几个可管理的 SFR 测量值的指南。移动设备照相机的 SFR 可以相对于多个变量显著地变化, 例如场位置或边缘方向。

下面是一个候选代码流, 用于将多个 SFR 估计提取为几个易于报告的估计。请注意, 提供了有关诊断分接点和警告的建议, 以帮助识别不良结果并跟踪测量变量。

嵌套循环的码流定义如下:

- a) 方向特性:  $t$  (切向),  $s$  (径向) ;
  - b) 对于 VGA 大小, 视野位置  $N(n)=0(1..4)$ ,  $30(1..4)$ ,  $60(1..8)$ ; 对于较大格式, 视野位置  $N(n)=0(1..4)$ ,  $25(1..4)$ ,  $50(1..8)$ ,  $75(1..6)$ 。
- 根据图像的 JND 来计算锐度退化的过程执行如下:

- a) 根据 5.3.5 中描述的条件拍摄图像帧;
- b) 如 5.3.2 所述创建亮度通道;
- c) 对于每个斜边正方形  $N(n)$ , 执行以下操作:

- 1) 计算切向 SFR。过度曝光/曝光不足和剪辑应产生警告。必须检查边缘的坡度 (低误差)。低对比度时应发出警告;
- 2) 将空间频率单位转换为附录 A 中所述的 CPD, 并计算和记录锐度值  $Q_s, N(n)$ ;
- 3) 计算 JSFR。过度曝光/曝光不足和剪辑应产生警告。必须检查边缘的坡度 (低误差)。低对比度时应发出警告;
- 4) 将空间频率单位转换为附录 A 中所述的 CPD, 并计算和记录锐度值  $Q_s, N(n)$ ;
- 5) 计算并记录切向和径向的平均锐度  $Q$ ;
- d) 计算所有记录的锐度值的加权平均值, 见公式 (E.1) :

$$Q = \frac{Q_s}{a} \sum_{i=1}^a \frac{1}{Q_{i,N}} + \frac{Q_s}{b} \sum_{i=1}^b \frac{1}{Q_{i,N}} + \frac{Q_s}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{Q_{i,N}} \dots\dots\dots (E.1)$$

或 VGA 尺寸图表, 和

$$Q = \frac{Q_s}{a} \sum_{i=1}^a \frac{1}{Q_{i,N}} + \frac{Q_s}{b} \sum_{i=1}^b \frac{1}{Q_{i,N}} + \frac{Q_s}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{Q_{i,N}} + \frac{Q_s}{d} \sum_{i=1}^d \frac{1}{Q_{i,N}} \dots\dots\dots (E.2)$$

- 或更大的格式。表 E.1 展示了平均过程中使用的权重;
- e) 根据公式 (12) 和公式 (13) 将加权平均锐度值转换为 JND。

表 E.1 用于计算总锐度数的权重

权重	VGA 图表	较大格式的图表
$c_1$	0.40	0.30
$c_2$	0.30	N/A
$c_3$	0.30	N/A
$c_4$	N/A	0.25
$c_5$	N/A	0.25
$c_6$	N/A	0.20

附录 F  
(资料性)  
逆伽马曲线线性化

ISO 12233:2014 标准规定: 在计算 SFR 之前, 应通过应用逆 OECF 进行线性化。然而, 已经证明, 在使用低对比度边缘特征的情况下, 如果输出信号中没有逆 OECF, 则与预期结果的偏差相对较小。由于相机非线性性的主要贡献者是 gamma 曲线, 其用于补偿显示器非线性色调转移, 并且这通常是已知的, 因此通过反转该曲线可以获得很好的结果。对于消费类数码相机, 最流行的保存图像格式是 sRGB (ISO 12233-2014)。对于移动设备很少, 如果有的话, 使用其他格式。因此, 本文件仅提及 sRGB, 但如果使用任何其他格式, 则应了解其特性, 因此很容易将 sRGB 伽马曲线与所讨论格式的曲线交换。

图 F.1 显示了典型移动设备相机的测量 OECF 曲线以及 sRGB 伽马曲线。可以检测到一些偏差, 但应注意的是, 由于过度的阴影和杂散光, OECF 的测量通常与困难有关, 这导致较低的测量精度。

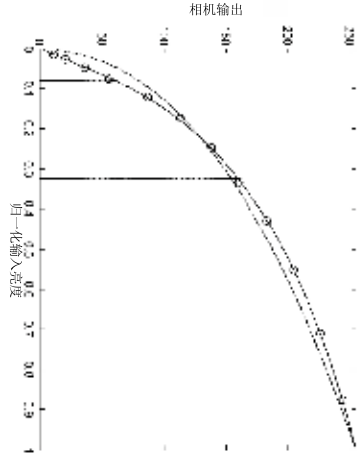


图 F.1 典型移动设备相机的测量 OECF 曲线 (圆圈和实线) 以及 sRGB 伽马曲线 (虚线)

图 F.2 所示为与图 F.1 所示相同数据的 sRGB 伽马曲线反转后得到的色调曲线。水平线和垂直线对应于针对 0.6 的边缘调制和对应于 0.7 的密度的穿过边缘的平均反射率值而获得的低边缘值和高边缘值。在这些限制范围内, 特征非常接近线性, 通过与该区域数据的线性拟合进行比较可以看出。



max 代码用于规范化输入数据，以确保 MATLAB 的二值化函数正确处理 8 位和 10 位数据。  
反转以使黑点变白，以便后续处理。

```
img = ~bw;  
  
使用 MATLAB 的图像处理功能来填补任何小的空白。  
se = strel('disk',2);  
bw = imclose(bw,se);  
然后填充任何孔，以便可以使用区域道具来估计每个边界所包围的区域。  
bw = fill(bw,'solid');
```

下一步是在二值化的绿色平面数据中找到每个对象（点）的区域、质心和边界框。

下面的三组检查使用上述信息过滤掉任何不需要的对象。  
首先检查物体的圆度。边界框面积与形状面积之比用作圆度的度量。理想情况下，圆的值应为 4/3.14=1.27。验收范围为 1.05 至 2.00。这个大范围是必要的，因为 LCD 将把图表中的点转换成椭圆。

```
del_obj = area_ratio < 1.05 | area_ratio > 2.0;  
del_obj = del_obj & del_obj > 2.0;
```

通常，图像中应该有大约 300 个直径相似的点，因此所有对象的中值直径将代表所需的点大小。假设这 300 个点将是二值化图像中最常见的对象。

对于中值计算，仅使用大于指定的最小允许点大小的点大小（默认值：5 像素）。

```
continue; del_obj = find_obj > 1;  
colored_obj = setdiff(obj,obj(del_obj));  
};
```

查找点大小列表的中间索引，必要时进行剪裁。

```
for count = numel(obj_size);  
    median_index = ceil(length(obj_size)/2);  
    if median_index < 1, median_index = 1; end
```

找到中值点大小值。

```
find_obj_size = MedianObjSize / 2;  
if find_obj_size < find_obj_size  
    find_obj_size = find_obj_size
```

在中值点大小值上建立点大小检查限制。  
直径检查查看对象的直径是否在中值的 -50%和+100%范围内。

```
del_obj = find_obj_size < find_obj_size * 0.5 |  
del_obj = find_obj_size > find_obj_size * 1.5;
```

对于每个对象，生成一个 ROI。ROI 是对象宽度的 1.9 倍，高度的 1.9 倍。  
最后的检查是拒绝任何与图像边缘接触的 ROI。

```
for count = 1 : numel(obj)  
    del_obj = find_obj_size < 1 | find_obj_size > 1;  
    del_obj = find_obj_size < 1 | find_obj_size > 1;  
    del_obj = find_obj_size < 1 | find_obj_size > 1;  
    del_obj = find_obj_size < 1 | find_obj_size > 1;
```

### 6.2.2.3 点 ROI 的流程

点的形状/轮廓取决于以下因素：

- 噪声；
- 镜头阴影；
- 通道锐度；
- 空间分辨率；
- 矩阵数值。

对于每个颜色平面上的每个 ROI，ROI 数据按照 6.2.2.4 到 6.2.2.5 进行处理。

### 6.2.2.4 点预处理

第一步是生成两个掩码：一个用于背景，另一个用于圆点。这些掩码用于去除不需要的 ROI 区域。用了 Otsu 的方法测量二值化阈值。

```
threshold = graythresh(input(:,:,channel));
```

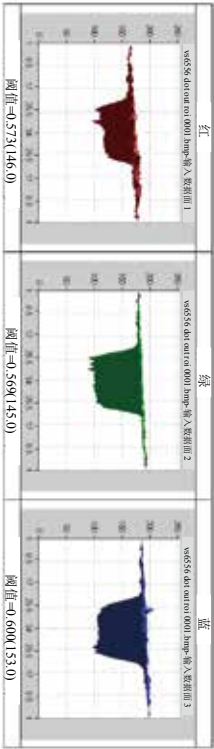


图 6.4 未经处理的 ROI 点数据

使用上述阈值生成二进制掩码。

```
mask_obj = (input(:,:,channel) > threshold);  
mask_bg = (input(:,:,channel) < threshold);
```

定义一个磁盘过滤器（半径 3 像素），然后用它来削弱背景和圆点的掩码，去除边缘过渡数据。

```
se = strel('disk',3);  
bg_mask = imdilate(mask_bg,se);  
obj_mask = imdilate(mask_obj,se);
```

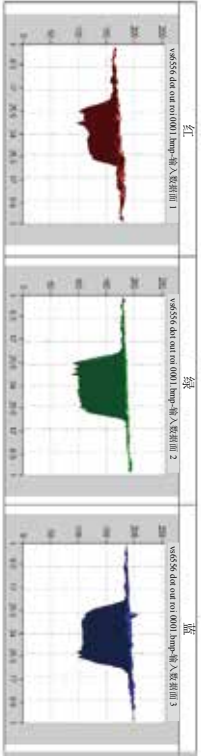


图 6.2 点的真实分布

### 6.2.2 寻找点 ROI

#### 6.2.2.1 二值化阈值

由于绿色通道通常是最强的通道，因此它用于查找每个点的 ROI。为了找到每个点的 ROI，图像被二值化，见图 6.3。  
镜头阴影的影响意味着二值化的阈值不能基于整个图像。解决这个问题的方法是计算一个 8\*8 的 ROI 网格的阈值，即图像大小的 1/8。

然后，用于二值化的阈值是所有感兴趣区域的阈值的最小值。  
该实现使用了 Otsu 的方法（MATLAB 灰度阈值函数）来计算阈值。

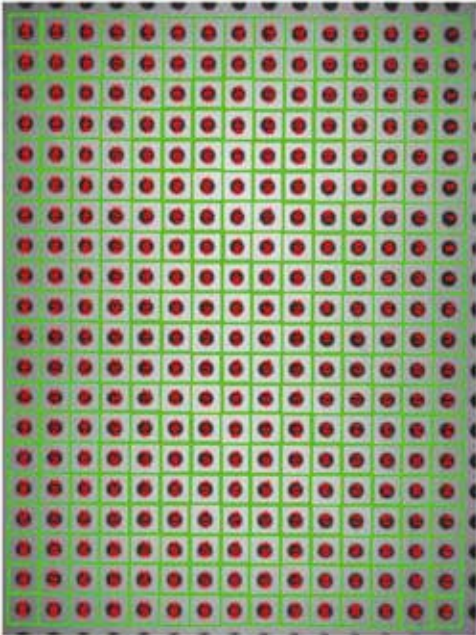


图 6.3 每个点的 ROI

#### 6.2.2.2 寻找 ROI

上述阈值用于对绿色平面进行二值化。

```
bw = im2bw(double(input)/double(max_code), threshold);
```

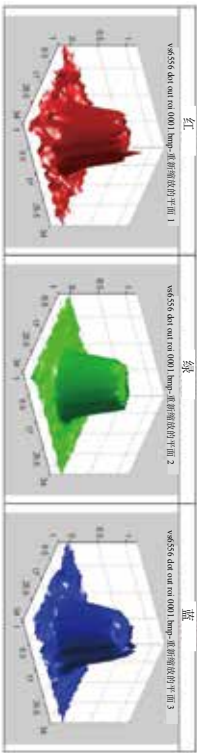


图 G.8 反转并重新缩放后的点数据

由于目标是测量图像中的横向色移，任何由于背景或网点最黑区域的不均匀性造成的影响都需要去除。其目的是将圆点周围的白色到黑色过渡环隔离开来。

这是使用背景和点二进制掩码执行的。背景掩码用于将点外部的所有像素强制为 0.0，而点掩码用于将中心点像素强制为 1.0。定义一个较小的磁盘，用于削弱图像掩码以生成背景掩码。这是为了确保背景被移除。早期较大的削弱是必要的，以确保完全消除黑白过渡，以找到最佳拟合平面。

```
se = struct('x',x,'y',y);
bg_mask = zeros(1024,1024);
for i=1:1024
    for j=1:1024
        if (x(i)-x0)^2+(y(j)-y0)^2 < 100
            bg_mask(i,j) = 0.0;
        else
            bg_mask(i,j) = 1.0;
        end
    end
end
```

下一步是剪裁图像数据，以确保它位于 [0.0:1.0] 范围内。

图 G.9 为背景移除和剪裁后的点数据。

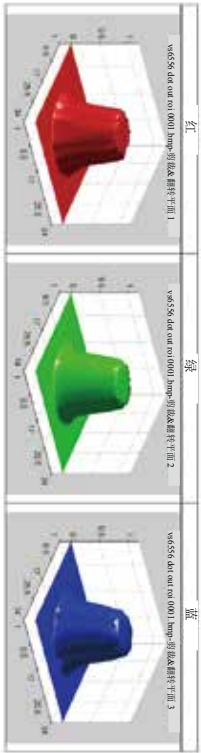


图 G.9 背景移除和剪裁后的点数据

### 6.2.2.5 点的质心

计算质心：

```
xi = sum(x.*bg_mask)/sum(bg_mask);
yi = sum(y.*bg_mask)/sum(bg_mask);
```

xi 和 yi 是分别包含 x 和 y 坐标的数组。

## 附录 H (资料性) 几何畸变具体测试步骤

几何畸变的具体测试步骤如下：

- 提取点；
- 精确地确定圆点中心的位置；
- 比较圆点位置和理论位置；
- 根据与中心像素相邻的栅格位置，计算平均栅格间距矢量。使用向量来表示网格间距是必要的，以提供对网格中旋转的鲁棒性（一个实际的现实问题）；
- 图像中心被指定为 (0,0) 网格位置，所有未畸变的网格位置都是相对于图像中心的网格倍数；
- 网格位置的几何畸变是实际网格位置的径向距离 (H') 和到理想网格位置的径向距离 (H) 之间的增量，除以理想网格位置 (H)，再乘以 100。如果 H < H'，则畸变为负。如果是 H' > H，则畸变为正；
- 对于每个有效栅格位置，计算上述几何畸变值。这为局部畸变提供了一个 2D 数据集；
- 将三阶和五阶多项式函数拟合到图像场（图像高度）相对于每个网格点的 LGD。选择均方误差最小的多项式拟合方程；
- 将几何畸变绘制为图像径向场（图像高度）与 LGD 的选择多项式函数；
- 客观度量作为多项式拟合方程的最大绝对值，在 0% 到 90% 范围内有 1% 增量；
- 畸变参考间距如图 H.1 所示。附录 G 中提出了一种用于检测点的信息性算法。附录 H 描述了一种信息性算法，根据点位置对网格进行排序。

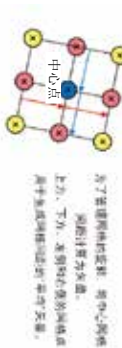


图 H.1 畸变参考间距

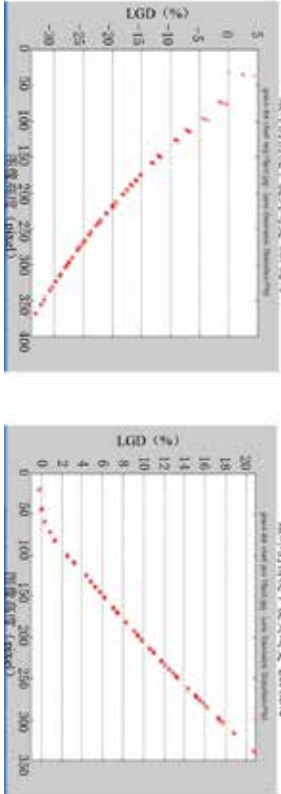


图 H.2 局部几何畸变径向轮廓示例

	红	绿	蓝
阈值二值 ROI			
背景 ROI 掩码			
点 ROI 掩码			

图 G.5 阈值 ROI 数据

如果存在镜头阴影，则点的轮廓可以倾斜。

通过使用白色数据（背景）来计算最佳拟合线性平面（ $z = a^*x + b^*y + c$ ），消除镜头阴影的影响。将 ROI 标准化，并通过除以最佳拟合平面来消除倾斜。

由于图像中通常存在 20×15 的点阵列，并且镜头阴影是低频变化，因此假设一个点的镜头阴影可以由线性平面近似。

使用背景掩码使任何非背景像素为零。

```
image_plane = image_plane .* ucat3d(bg_mask);
建立联立方程组供 MATLAB 求解，得到最佳拟合的线性平面。
但是，首先必须将二维数组转换为一维数组。
linear_fit = zeros(1,3);
for i = 1:size(bg_mask,1)
    for j = 1:size(bg_mask,2)
        if bg_mask(i,j) == 1
            linear_fit(1) = linear_fit(1) + x(i,j);
            linear_fit(2) = linear_fit(2) + y(i,j);
            linear_fit(3) = linear_fit(3) + z(i,j);
        end
    end
end
```

仅使用有效数据 (>0)。获取有效数据的索引列表。

```
linear_fit = linear_fit ./ sum(bg_mask);
z1 = linear_fit(3);
z2 = linear_fit(3);
y = linear_fit(2);
建立联立方程组。
x = ones(size(z1));
求解模拟方程-最小平方拟合。
a = x \ (y - z1);
重建最佳拟合图像平面二维阵列。
```

```
linear_fit = [linear_fit(1); linear_fit(2); linear_fit(3)];
linear_fit = linear_fit ./ sum(bg_mask);
```

最佳拟合平面见图 G.6。

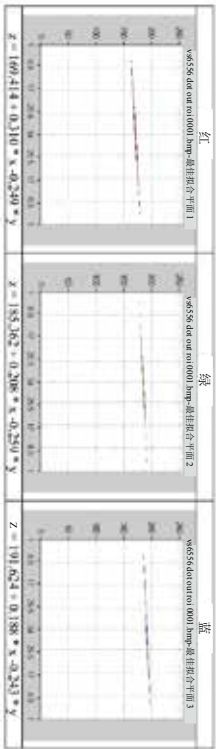


图 G.6 最佳点倾斜

校正镜头阴影并规范化图像数据。

```
corrected = double(image_plane ./ (1 + a.*x + b.*y));
```

校正镜头阴影后，平均背景水平将为 1.0。图 G.7 为去除倾斜后的点数据。

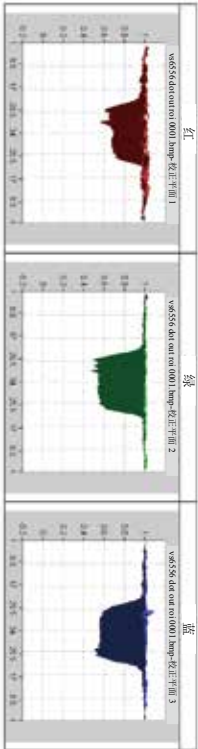


图 G.7 去除倾斜后的点数据

下一步是拉伸点，使平均点值为零。平均点值是由点掩码选择的像素的平均值：

```
mask = double(sum(bg_mask .* corrected, 'all') ./ sum(bg_mask));
```

测量重新缩放因数：

```
rescale_factor = 1.0 ./ (1.0 - mask);
```

重新缩放图像数据：

```
corrected = 1.0 ./ rescale_factor .* corrected;
```

反转点：

corrected = 1.0 - corrected;

图 G.8 为反转并重新缩放后的点数据。



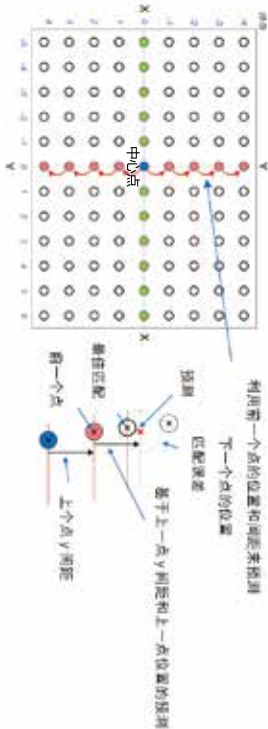


图 1.3 网格排序——步骤 3 (y 轴)

在水平方向 (x 轴)，前两个点之间的水平点间距，用于预测相对于前一个点位置的当前网格点。如果距离预测网格位置最近的点在要求的公差范围内 (当前水平点间距/2)，则已找到该网格位置的匹配项，并用匹配点位置的坐标填充该网格位置。

对于靠近中心点的网格位置，使用初始点间距值进行预测。

如果最近的点位于所需公差之外，则不存在匹配，该网格位置的坐标将设置为 (0, 0)，即缺少网格点。网格缺失的点的处理见图 1.4。

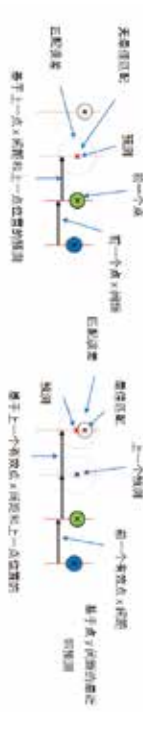


图 1.4 步骤 1：处理网格缺失的点

缺少网格点通常是由于在原始图像中找不到点，或者由于图像边缘的失真而在网格中找不到完整的行/列。如果上一个匹配失败，即它是空值，则使用上一个预测的网格位置和最后一个有效的点 x 间距值来预测嵌套网格/点位置。

垂直方向上的扫描是相似的，只是点之间的垂直间距用于预测。

失真会导致垂直和水平点间距之间的显著局部差异。为了实现强大的网格排序/拟合，必须分别跟踪垂直和水平点间距。

### 1.3.1 步骤 2：填充网格的其余部分

第二步填充每个象限中的网格位置，见图 1.5 和图 1.6。

依次选择“从中心网格位置向左移出”，即 x 轴上的 x 栅网格位置。

对于每个选定的 x 轴网格位置，逐步遍历每个 y 轴网格位置。先从中心向上移动，然后从中心向下移动。

每个网格位置的预测基于最近于中心的同一行中相邻网格位置的垂直间距加上该列中的上一个网格/点位置。

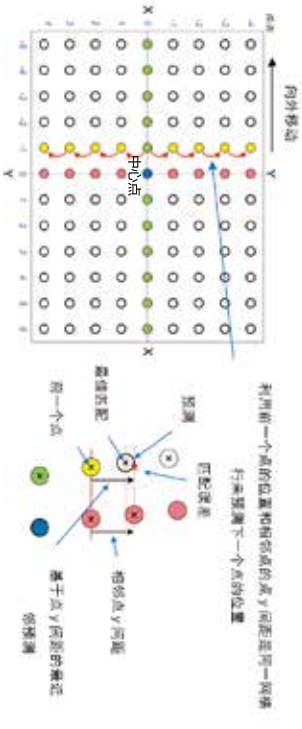


图 1.5 网格排序——步骤 4

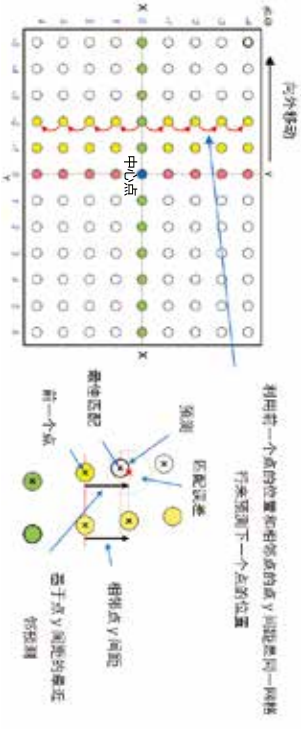


图 1.6 网格排序——步骤 5

对于网格缺失的点，处理方法见图 1.7。如果上一个匹配失败，即它是空值，则使用上一个预测的网格位置和最靠近中心的同一行中相邻网格位置的垂直间距来预测下一个网格/点位置。

如果最靠近中心的同一行中的相邻网格位置为空，则使用最后一个有效的点 y 间距进行预测。



图 1.7 步骤 2：处理网格缺失的点

重复上述步骤，从中心网格位置向右移动，见图 1.8 和图 1.9。

## 附录 I (资料性) 网格排序

### 1.1 综述

本附录描述了将摄像机拍摄的图像中的扭曲网格与原始网格目标进行匹配的步骤。主要步骤如下所示：

- 运用绿色平面的点中心数据；
- 找到例图像中心最近的点；
- 找到图像中心的点间距。假设/基本事实是图像中心没有失真；
- 使用中心点间距来预测网格的大小。超过 50% 的网格，以确保有足够的空间。基于过大的值创建空网格；

- 用中心点的位置填充空网格；
  - 从中心点向左扫描，然后向右扫描以找到点 (沿水平轴 X-X)。使用上一个点 x 间距来预测下一个点的位置；
  - 从中心点向上扫描，然后向下扫描以找到点 (沿垂直轴 Y-Y)。使用上一个点 y 间距来预测下一个点的位置；
  - 从水平轴上的每个网格点 (X-X) 向上扫描点，然后向下扫描以找到点。使用最近水平相邻点 y 间距来预测下一个点的位置。
- 网格位置建立的顺序非常重要，有效地，具有相应点位置的网格的总体从图像中心生长出来，在该中心不应有失真。

### 1.2 初始化

#### 1.2.1 寻找最近的点

核心例程找出哪个点距离预测的中心最近。计算预测中心和所有点中心之间的欧氏距离。例程返回最近的点 (最小距离) 和到该点的距离。在 MATLAB 函数 `lqd_grid_find_nearest_match` 中，通过以下两行实现：

```
function [x, y] = find_nearest_match(xc, yc, x, y)  
[min_dist, min_idx] = min(sqrt((x - xc).^2 + (y - yc).^2));
```

其中 (x, y) 是点中心列表，并且 (xi, yi) 是预测的中心位置。

如果匹配和预测之间的距离小于阈值 (例如当前点间距/2)，则认为匹配有效。这允许正确管理丢失的情况，而不会生成错误匹配。

匹配公差允许处理网格中的几度范围内的旋转。

#### 1.2.2 寻找中心点

使用绿色平面点中心数据或网格排序。首先找到离图像中心最近的点位置。这个点存储在网格的中心。

```
function [x, y] = find_center(x, y)  
[min_dist, min_idx] = min(sqrt((x - xc).^2 + (y - yc).^2));
```

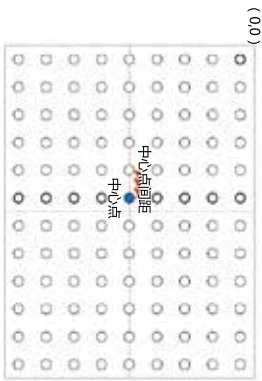


图 1.1 网格排序——步骤 1

假设图像中心没有失真，因此可以从参考情况假设图像中心的点间距来预测 LGD 值。

### 1.3 创建表格

图像大小除以上述中心点间距。得到的网格尺寸过大 50%，以处理负失真的情况下，点间距减少，从图像中心的径向距离增加。

网格的内容被初始化为零，以指示未填充网格位置。随着网格排序的进行，网格位置将填充相关点中心的位置。

在搜索结束时，具有匹配点中心位置的网格位置具有非零值。

#### 1.3.1 步骤 1：填充 x 和 y 轴点位置

从中心点位置开始，依次在中心点位置的左侧、右侧、上方和下方执行四次扫描，以找到与 x 轴和 y 轴上的网格位置匹配的点，见图 1.2 和图 1.3。

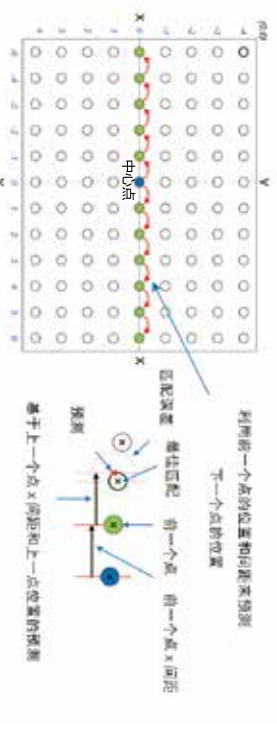


图 1.2 网格排序——步骤 2 (x 轴)

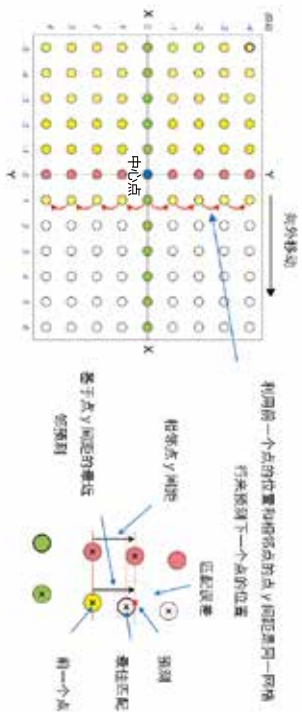


图 1. 8 网格排序——步骤 6

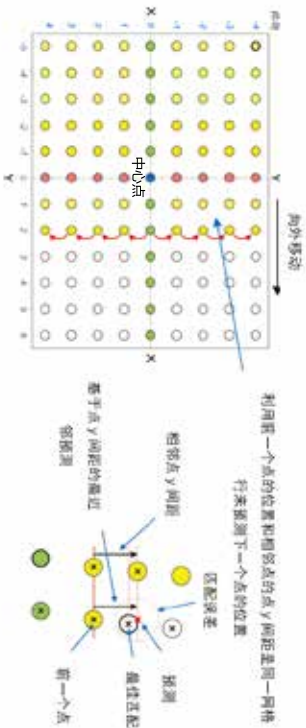


图 1. 9 网格排序——步骤 7

图 1. 10 为安装网格示例:



a) 15%TV 负波畸变  
图 1. 10 安装网格示例  
b) 15%TV 正波畸变

附录 J  
(资料性)  
动态范围计算的具体步骤

动态范围 (DR) 计算的具体步骤如下:

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

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

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:

$$\dots\dots\dots (J.2)$$

式中:

$$SNR_i = \begin{bmatrix} L_i \times \varepsilon_i \\ n_i \end{bmatrix}$$

$\sigma_i$  —— 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<sup>2</sup>);

$\varepsilon_i$  —— 第  $i$  个灰阶块的增量增益, 见公式 (J.3)

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

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  $Y(1)=248.0$ ,  $Y(2)=248.0$ ,  $Y(3)=246.3$ , 则第 2 号灰阶块的亮度值就为  $L_{max}$ 。

d) 确定  $L_{min}$ , 理论上  $SNR=1$  的灰阶块的亮度值就是  $L_{min}$ , 但实际很少正有这样的情况, 这时就要用插值法算出  $SNR=1$  时对应的灰阶亮度值。具体见公式 (J.4):

$$L_{min} = \frac{(1 - SNR_{n_i}) \times (L_{(n-1)} - L_n)}{SNR_{(n-1)} - SNR_{n_i}} \dots\dots\dots (J.4)$$

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  $SNR>1$  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 DR [dB] 值。

