

EMVA1288：图像传感器与相机性能测试标准

西安远望图像技术有限公司，冯兵，博士

2020年9月20日

1. 引言

在 EMVA1288 标准出台以前，相机与图像传感器有很多传统的测试方法或一些专门为某种性能测试而制定的标准，但这些标准不适合迅猛发展的机器视觉（MV）行业。由于缺乏统一可用的行业标准，各大图像传感器与相机生产商都推出了自己的性能测试方法，以及以这些方法进行测试所获得的其产品的性能参数数据表。各不同厂商对产品参数的定义、所使用的单位、测试方法与测试条件各不相同，专业的 MV 工程师甚至相机研发人员都很难根据这些数据表来对不同厂商的图像传感器与相机性能进行客观的比较，而用户则更难根据数据表来确定哪一款相机的性能更适合自己的使用。

为了解决此问题，欧洲机器视觉协会(EMVA)于 2004 年 2 月成立了由 Awaiba 与 Basler 牵头，主要的图像传感器与相机生产商均参与其中的 EMVA1288 标准工作组，目标是建立一个统一的适合 MV 行业的相机与图像传感器性能测试标准，从而“让机器视觉工程师活得更轻松一点”。经过一年半的研究准备，EMVA 于 2005 年 8 月正式发布了 EMVA1288 A1.0 版。十多年来，EMVA1288 标准不断地发展完善，目前的正式生效版本是 2016 年 12 月发布的 R3.1 版。

该标准目前已被包括中国 CMVU、美国 AIA、日本 JIIA、德国 VDMA 等各大相关的行业组织所接受与支持，是目前唯一的国际国内通用的图像传感器与相机性能测试行业标准。

为了满足国内机器视觉行业图像传感器与相机生产商、系统集成商及广大机器视觉行业用户的需求，并更好地推广该标准，经 EMVA 授权，CMVU 组织相关行业专家，于 2017 年 8 月推出了 EMVA1288 R3.1 标准中文版。参考 EMVA1288 R3.1 版制定的国家标准《视觉模组光电性能的图像式检测方法》已于 2020 年 6 月正式公示，预计将于 2021 年正式施行。

本文对该标准的数理模型、核心性能指标、测试设备、测试方法以及测试结果的发布进行简要介绍，希望有助于读者理解该标准，更好地使用该标准。

2. 数理模型

如图 1 所示，一个数字图像传感器本质上是将曝光时间内入射到像元面上的一定数量的光子转换为一定数量的电子，然后通过存贮这些电荷的电容转换为一定幅值的电压信号，此信号经放大、量化最终变成数字图像的灰度值。这就是该标准所述图像传感器与相机的物理模型。

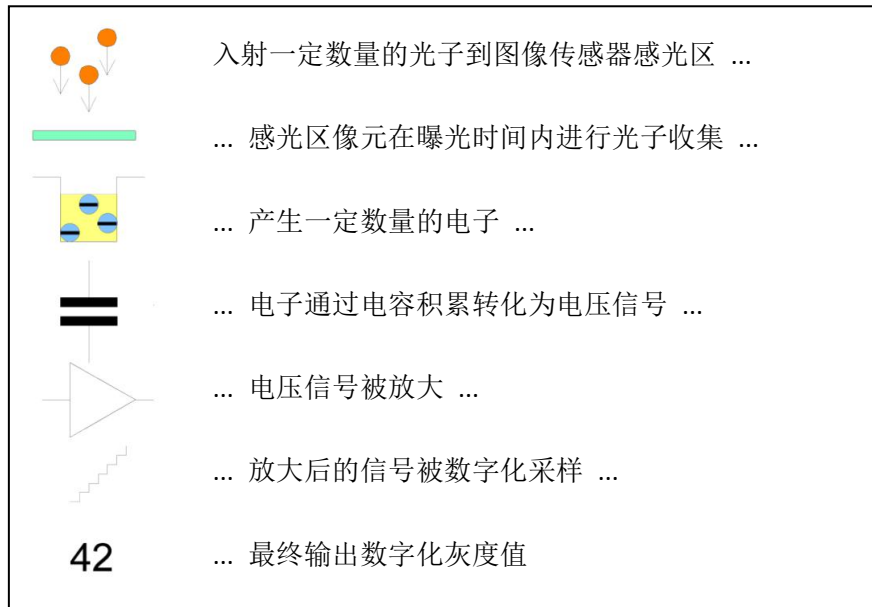
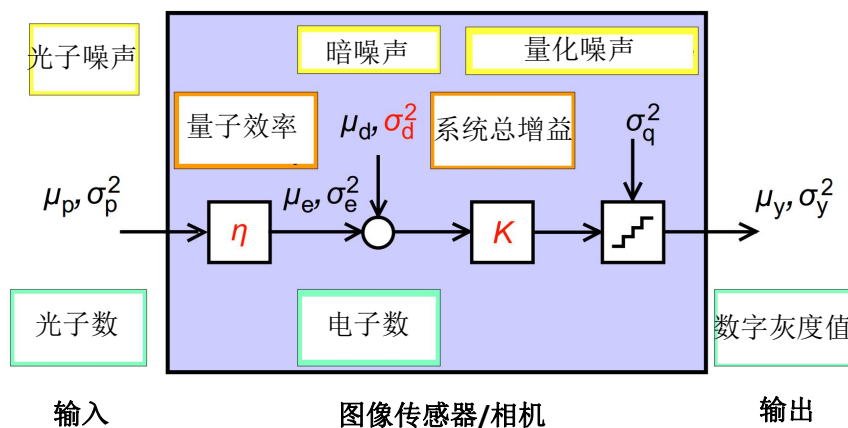


图 1 图像传感器与相机的物理模型

在上述物理模型的基础上，EMVA1288 标准的单像元数学模型如图 2 所示：



图中符号说明：

- 1) 用逗号分开的物理量分别是其均值与方差；
- 2) 待测的未知量以红色标记。

图 2 单像元数学模型

基于以上数理模型，EMVA1288 标准有如下假设：

- 1) 一个像元所收集的光子数取决于辐照度 E (单位: W/m^2)、曝光时间 t_{exp} (单位: s)、像元面积与光子波长；
- 2) 传感器是线性的，即数字信号 y 随接收光子数量的增加而线性增加；
- 3) 在时间与空间上，噪声源都是广义平稳和白色的。描述噪声的参数在时间与空间上具有不变性；
- 4) 只有总量子效率与波长相关，由不同光波长产生的影响可以线性叠加；
- 5) 只有暗电流与温度相关。

上述数理模型用于描述理想相机与传感器的特性。但是实际传感器与理想传感器多少会有差异。只要差异在允许范围内，该标准仍然适用，并且该标准的任务之一就是描述实际传感器与标准传感器的差异程度。但是，如果两者偏差过大，将导致参数无法确定或者结果无意义，在此情况下该标准无法适用。此外，该标准亦无法适用于明显与上述任一假设相悖的传感器，例如：响应曲线呈对数而非线性的相机就不适用于该标准。

3. 主要性能指标及其含义

1) 量子效率

指图像传感器的光电转换效率：图像传感器单个像元所占用的感光面范围内入射光子转换为有效电子的总效率。要注意的是，EMVA1288 标准测的是“总量子效率”，其包含了图像传感器的像元填充因子等参数所造成的影响。

2) 总增益

指相机输出的数字图像灰度值与像元产生的电子数之间的定量关系： K 。其含义是 1 个电子最终将在图像上转换为 K 个 DN 值。 K 越大，图像越亮；使用图像灰度值与 K 值可以推算得到像元积累的电子数。

3) 暗场噪声

指无光照条件下相机的随机噪声，又称读出噪声。暗场噪声越低，相机灵敏度越高，动态范围越大。

4) 饱和容量

指图像饱和时单像元内所收集的电子数。饱和容量越大，相机动态范围越大，最大信噪比越大。但饱和容量不一定等于满阱容量，后者指像元在物理上已经达到饱和时的容量，其一般会大于饱和容量。

5) 绝对灵敏度（阈值）

指图像信号比刚好为 1: 1 时的等效曝光量，可由量子效率与暗场噪声计算

得到，是以光子来表示的“暗场噪声”。其数值越小，灵敏度越高，弱光条件下成像信噪比越高。

6) 动态范围

饱和容量除以绝对灵敏度就是以倍数为单位的动态范围，也可以转换成 dB 或 bit 等单位表示。动态范围大，适应的光照范围越大；同一张照片，其动态范围越大，图像层次越丰富，高低亮度不同部分图像质量能得到兼顾。

7) 最大信噪比

图像在未饱和时的最大信噪比，主要取决于图像传感器的饱和容量。在光照充足、曝光良好时，最大信噪比越大，图像质量越好。

8) DSNU1288

暗场图像空间本底非一致性，与 FPN (Fixed Pattern Noise) 表示的是同一种属性，是空域“噪声”的一种，其可以通过图像处理来进行校正消除。

9) PRNU1288

光响应空间非一致性，不同像元对光的响应不一致会在图像上产生一种空域“噪声”，与 DSNU1288 一样，其同样可以通过图像处理来进行校正消除。

10) 暗电流

指无有效光照条件下传感器像元由于热激发电子产生的电荷积累。暗电流是对长时间曝光成像性能影响极大的性能指标，例如高灵敏度的科学级相机采用长时间曝光进行弱光成像时，暗电流必须非常小。

4. 测试设备与方法

根据 EMVA 1288 标准，对相机进行光电性能测试需要三种不同的测试设备：

- 1) 为了测量灵敏度、线性度和非均匀性需要使用均匀单色光源。
- 2) 测量暗电流的温度依赖性时需要使用对相机进行温控的设备。
- 3) 在传感器敏感的整个波长范围内测量光谱灵敏度（量子效率）的设备。

按 EMVA1288 标准的规定，以上设备中的第 1 项设备所对应的参数项是必测项，所以第 1 项设备是 EMVA1288 测试必须具备的基本条件。第 2 与第 3 项所测项目是非必测项，一般来说，图像传感器厂商必测，相机厂商可选测。

采用符合 EMVA1288 标准规定的测试设备，按该标准规定的检测方法，采集待测视觉模组在不同曝光量条件下的一系列图像，即可基于该标准数理模型相关公式与数据处理流程计算出视觉模组的量子效率、暗噪声以及系统总增益。在此基础上，结合所测得的系列图像的均值与方差等数据，即可获得灵敏度、线性度、信噪比、暗电流、暗场非一致性、光电响应非一致性等各类光电参数。

5. 测试结果发布

EMVA1288 标准对测试报告所需要提供的内容与格式进行了详细的规定，并给出了报告示例模板，基于 EMVA1288 标准进行的测试应提供符合标准规定的测试报告。统一格式的内容全面的测试报告方便用户对测试结果进行解读与评测。

6. 实践经验与评论

由于工作的需要，笔者从 2009 年开始关注 EMVA1288 标准并基于该标准主持研发了多种图像传感器与相机性能测试设备，是多项图像传感器与相机性能测试平台相关专利与软著的发明人，也是 EMVA1288 标准中文版的终审专家。

使用西安远望图像技术有限公司研发的 ez1288 图像传感器与相机性能测试设备 (www.ez1288.com)，笔者对海康威视、注视者、度申、BASLER、DALSA 与 FLIR 等国内外厂商的大量不同型号的相机进行了大量测试，与国外同类设备进行的测试结果对比表明，该类设备测试精度、测试结果重复性与一致性指标良好，证明了 EMVA1288 标准是一种可行的测试标准，基于该标准研发的测试设备是进行图像传感器与相机性能测试的可信赖的设备。

2019 年笔者在 BASLER 参加 EMVA1288 标准工作组会议过程中，在与 BASLER 的相机产线测试负责人进行交流时了解到，BASLER 产线上用于进行相机性能测试的测试设备超过 30 套，此外，其研发部门还有大量的测试设备。该负责人介绍说，**BASLER 每个型号的相机都有基于 EMVA1288 标准的 datasheet，并在其官网上进行了公示**，该公司出厂的绝大多数相机都会逐一使用 EMVA1288 测试设备进行测试，**达不到其 datasheet 指标的相机不会被允许出厂**。

笔者的测试结果表明，我们某些品牌的国产相机并不比国外同类产品性能差，只是国外厂商通过全面的测试把性能指标不达标的相机留在了厂内，而我们国产相机可能由于测试不全面，导致一小部分性能指标不达标的相机到达了用户手里，从而影响了国产相机在用户端的整体体验。因此笔者希望国内的图像传感器与相机生产商能够按照这份标准来规范与完善各自的产品研发、生产与测试流程，能够把国产机器视觉产品整体水平提高到一个新的台阶。

参考文献：

- 1) EMVA1288, Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras, Release 3.1, December 30, 2016, Issued by European Machine Vision Association, www.emva.org.
- 2) EMVA1288 图像传感器与相机性能测试标准 R3.1 (中文版)，2017 年 8 月 25 日，欧洲机器视觉协会 (EMVA) 发布，中国机器视觉产业联盟 (CMVU) 译。