

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

硕士学位论文

基于CCD图像的LED显示屏亮度均匀性评估研究

姓名：宋新丽

申请学位级别：硕士

专业：电路与系统

指导教师：郑喜凤

20081201

基于 CCD 图像的 LED 显示屏亮度均匀性评估研究

宋新丽

导师： 郑喜凤

摘要

随着全彩色 LED 显示屏技术的发展及其在生活中的广泛应用，人们对显示屏显示效果的要求也越来越高。衡量 LED 显示屏好坏的一个重要因素就是亮度和色度的均匀性。目前，对这些显示效果评价主要是依靠人眼的主观评价。这种评价方法虽然比较简单直接，但受人的主观因素影响较大，不同的人会得出不同的评价结果。有关行业标准也提出了客观评价方法，但是由于评价方法简单，采集数据不精确，在实际应用中也存在着很多不便。因此，寻找一种既符合人的主观感受又能客观量化的亮度均匀性评估标准，已经成为 LED 行业亟待解决的问题之一。由于数据采集方法的限制，本文只对 LED 亮度均匀性进行了分析和评估。

本文在数字图像处理的基础上，结合视觉生理及心理学、光电子学等知识，提出了基于 CCD 图像的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法。本文共分为六章，其中第一章为引言，主要介绍了 LED 显示屏国内外发展现状以及对其亮度均匀性评估的重要意义；第二章和第三章介绍了与本文研究内容相关的知识背景，主要介绍了视觉生理和心理学相关知识及其对人眼主观感受的影响，然后介绍了 CCD 相机的工作原理及特点；第四章和第五章是本文的难点和核心部分。首先介绍了 LED 像素相对亮度的提取方法，然后在此基础上提出了几种亮度均匀性评估算法，并进行了比较，进而得出比较理想的评估算法；第六章是对本文讨论问题的总结和展望，总结了本课题完成的情况和存在的问题以及工作展望。

本课题研究的内容是中科院长春光机所三期创新项目“高清晰、高均匀度全彩色 LED 显示屏关键技术研究”的一部分，本文所取得的成就将对 LED 亮度均匀性提供更快捷有效的评估方法，对 LED 显示屏行业也有一定的借鉴意义。

关键词：LED 显示屏，亮度，均匀性，人类视觉系统，视觉心理学

Research on Luminance Uniformity of LED Display Panel Based on CCD Image

Song Xinli

Directed by: Zheng Xifeng

Abstract

With the development of the full-color LED display technology and which is used in lives more and more widely, people require higher showing quality of LED display. An important factor to measure LED display panel is the uniformity of luminance and color. Presently, to evaluate these phenomena, the main method relies on the subjective evaluation of human eyes. Although this method is simple and straight to achieve, different people come to be different conclusion because of the subjective factors. Relevant industry standards also made an objective evaluation method, but because of the inaccuracy of the data acquisition and the simplicity of the algorithm, it can not be used well in LED display industry. So, it becomes an urgent problem to research an assessment method which suit not only human subjective evaluation but also objective and quantitative assessment of the brightness uniformity. In this paper, the evaluation of LED luminance uniformity is just to be settled.

In this paper, based on the knowledge of digital image processing, Visual physiology, Visual psychology and Opto-electronics, An evaluation method of LED display luminance uniformity is approach, and in this method the CCD image must be used. This article is divided into six chapters. The first chapter is the introduction about LED display development of the situation at home and abroad and the significance of the evaluation; the chapter two and three talk about the background knowledge which related to the content of this paper. It introduced the visual physiology, visual psychology and the working principle of CCD camera; the chapter four and five is the focus of this paper, it first, gives the method to get the luminance of LED pixels, then introduces some algorithms about the evaluation of LED display luminance uniformity, finally, achieves a batter conclusion; the chapter six is the last chapter, which summarizes the final work and bring up the work which need to be

Abstract

finished in the future.

The content of this paper is a part of “the Research on the Key Issues of High Definition, High Uniformity LED Display”, which is the third innovation project of Chinese Academy of Sciences CIOMP. The achievement in this paper will provide faster and more effective evaluation method of LED luminance uniformity, which would give reference to LED display industry.

Key words: LED display panel, luminance, uniformity, HVS, visual psychology.

学位论文知识产权权属声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，所有数据、图片资料真实可靠。已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确的方式标明。本学位论文的知识产权归属中国科学院长春光学精密机械与物理研究所。长春光学精密机械与物理研究所享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离所后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长春光学精密机械与物理研究所。本人完全意识到本声明法律结果由本人承担。

论文作者签名：宋新丽

日期：2008年12月25日

导师签名：

日期： 年 月 日

第一章 引言

LED 显示屏是集微电子技术、光学技术、计算机技术、信息处理等技术于一体的大型显示系统，经历了多年的发展，在发光器件、电路及结构设计等方面有了长足的进步，已成为信息显示的重要传媒之一。本章首先介绍 LED 显示屏的一些基本知识，接着介绍了目前 LED 显示屏亟待解决的亮度不均匀性问题，即“马赛克”和“麻点”缺陷，分析了引起不均匀性的原因。然后总结介绍了目前国内外对这一问题的解决办法及研究现状。最后介绍了本文的研究方法、研究中存在的几个关键问题。

1.1 LED 显示屏国内外发展现状

LED 已有 40 多年的发展历程。20 世纪 70 年代，最早的 GaP、GaAsP 同质桔红、黄、绿色低发光效率的 LED 已开始应用于指示灯、数字和文字显示。从此，LED 开始进入多种应用领域，包括宇航、飞机、汽车、工业应用、通信、消费类产品等，遍及国民经济各个部门和千家万户。1996 年，LED 在全世界的销售额已达到几十亿美元。我国发展 LED 起步于是 20 世纪 70 年代，80 年代形成产业。全国约有 100 多家企业，95% 的厂家都从事后道封装生产，所需管芯几乎全部从海外进口。通过几个“五年计划”的技术改造、技术攻关、引进国外先进设备和部分关键技术，使我国 LED 的生产技术已向前跨进了一大步。北京、长春、南昌、上海、山东、河北等地的一些厂家，现已具备 GaAs 和 GaP 单晶、外延片、芯片的批量生产能力。从而改变了我国超高亮度 LED 外延片、芯片全部从海外进口的局面。

蓝光发光二极管(LED)是以第三代半导体氮化镓(GaN)为代表的蓝色发光二极管。国内外都对该领域投入了大量的研究，美国和日本已掌握生产纯蓝和纯绿光的氮化镓基(GaN)材料的生长工艺。我国已在实验室生产出氮化镓基(GaN)蓝色发光材料，目前正在产业化生产方面的研究。氮化镓基固态光源是一个 GaN 一白光 LED 发光器件，具有全固体、冷光源、寿命长、体积小、光效高、响应速度快、耐候性好等优点。在国民经济的众多领域具有广泛的应用前景，正已引起科技界和产业界的极大关注，成为半导体领域新崛起的研究热点和经济生长点。

随着电子工业的快速发展，在 60 年代，显示技术得到迅速发展，人们研究出 PDP 激光显示等离子显示板、LCD 液晶显示器、发光二极管 LED、电致变色显示 ECD、电泳显示 EPID 等多种技术。由于半导体的制作和加工工艺逐步成熟和完善，发光二极管已日趋在固体显示器中占主导地位。80 年代初，随着计算机的发展，CGA 显示方式问世了，它有 320*200 的分辨率四种颜色，在短短的 10 年中显示方式已经经历了 CGA、EGA、SEGA、VGA、SVGA，向超高分辨率发展，显示精度从 320*200 发展到 1600*1250，由四种颜色到 32 位真彩。

显示器的工作原理是接收主机发出的信号还原成光的形式显示出来，80 年代初，随着显示技术的发展人们需要一种大屏幕的显示设备，投影仪亮度无法在自然光下使用，LED 显示器(屏)以其具有视角大、亮度高、色彩艳丽的特

点，在许多领域的应用已经十分广泛，在体育场馆，LED 显示系统可以显示比赛实况、精彩回放等；在交通运输业，可以显示道路运行情况；在金融行业，可以实时显示金融信息，如股票、汇率、利率等；在商业邮电系统，可以向广大顾客显示通知、消息、广告等等。显示技术还应用于工业生产、军事、医疗单位、公安系统乃至宇航事业等国民经济、社会生活和军事领域中，并起着重要作用，显示技术已经成为现代人类社会生活的一项不可或缺的技术。

LED 的发光颜色和发光效率与制作 LED 的材料和工艺有关，目前在显示屏领域广泛使用的有红、绿、蓝三种。由于 LED 工作电压低，能主动发光，亮度又能用电压（或电流）调节，本身又耐冲击、抗振动、寿命长（10 万小时），所以在大型的显示设备中，目前尚无其他的显示方式与 LED 显示方式匹敌。把红色和绿色的 LED 放在一起作为一个像素制作的显示屏叫双基色屏或伪彩色屏；把红、绿、蓝三种 LED 管放在一起作为一个像素的显示屏叫三基色屏或全彩屏。制作室内 LED 屏的像素尺寸一般是 3-10 毫米，常常采用把几种能产生不同基色的 LED 管芯封装成一体，室外 LED 屏的像素尺寸多为 12-30 毫米，每个像素由若干个各种单色 LED 组成，常见的成品称像素筒或像素模块。LED 显示屏如果想要显示图象，则需要构成像素的每个 LED 的发光亮度都必须能调节，其调节的精细程度就是显示屏的灰度等级。灰度等级越高，显示的图像就越细腻，色彩也越丰富，相应的显示控制系统也越复杂。LED 电子显示屏是由几万—几十万个半导体发光二极管像素点均匀排列组成，可以显示变化的数字、文字、图形图像；不仅可以用于室内环境还可以用于室外环境，具有投影仪、电视墙、液晶显示屏无法比拟的优点^[1-3]。

用 LED 器件组成显示屏的最大特点在于其制造不受面积限制，可以达到几十甚至几百平方米以上，应用于室内外的各种公共场合显示文字、图形、图像、动画、视频图像等各种信息，成百上千人同时驻足观看，具有较强的广告渲染力和震撼力，对都市的社会活动有较强的气氛渲染作用，美化和丰富了人们的生活环境。

1.1.1 LED 显示屏分类

1. 按使用环境。可分为室内、室外和半室外。室内屏面积一般在十几平米以下，点密度较高，在非阳光直射或灯光照明环境使用，观看距离在几米以外，屏体不具备密封防水能力。发光点直径较小，一般Φ3mm—Φ8mm，比如Φ3mm、Φ3.75mm、Φ5mm。室外屏面积一般从几十到几百平米，点密度较稀，发光亮度在 3000-10000cd/m²（朝向不同，亮度要求不同），可在阳光直射条件下使用，观看距离在几十米以外，屏体具有良好的防风抗雨及防雷能力。室外 LED 显示屏发光点直径较大，比如Φ10mm、Φ12mm、Φ16mm、Φ19mm、Φ21mm、Φ26mm 等等。半室外屏介于室外及室内两者之间，具有较高的发光亮度，可在非阳光直射室外下使用，屏体有一定的密封。

2. 按颜色分为单色、双基色和三基色。单色是指显示屏只有一种颜色的发光材料，多为单红色，在某些特殊场合也可用黄绿色。双基色屏一般由红色和黄绿色发光材料构成，256 级灰度、可以显示 65536 种颜色。三基色屏分为全彩色（full color），由红色，黄绿色（波长 570nm），蓝色构成；真彩色（nature color），由红色，纯绿色（波长 525nm），蓝色构成。256 级灰度的全彩色显示屏可以显示一千六百多万种颜色。

3. 按控制或使用方式分同步和异步(或通讯)。同步方式是指 LED 显示屏的工作方式基本等同于电脑的监视器，它以至少 30 场/秒的更新速率点对点对应地实时映射电脑监视器上的图像，通常具有多灰度的颜色显示能力，可达到多媒体的宣传广告效果。异步(或通讯)方式是指 LED 屏具有存储及自动播放的能力，在 PC 机上编辑好的文字及无灰度图片通过串口或其他网络接口传入 LED 屏，然后由 LED 屏脱机自动播放，一般没有多灰度显示能力，主要用于显示文字信息，可以多屏联网。

4. 按像素密度或像素点间距划分。由于室内屏采用的 LED 点阵模块规格比较统一，所以通常按照模块的像素点间距划分主要有：P3.0mm、P4.75mm、P6mm、P7.62mm、P8mm、P10mm 等；室外 LED 显示屏有：P10mm、P12mm、P16mm、P20mm、P25mm、P33.5mm 等多种规格。

1.1.2 LED 显示屏系统组成

三基色 LED 视频显示是近几年刚刚兴起的一种平板显示系统，整个显示系统主要由信号源、数据传输系统、控制系统、驱动系统以及 LED 显示屏体等几部分组成^[1-5]，如图 1.1 所示。信号源不仅包括计算机输出的图文图像信号、电视视频信号，还可以显示摄像机现场拍摄的各种信号和录像机播放的内容。数据传输系统包括数据传输通道及各种视频采集卡，数据传输方式由原始的电缆传输到目前 DVI、SDI 信号、网线及光纤传输。控制系统所做的工作就是把数据传输系统的信号转换成 LED 显示屏所需要的数据和控制信号。驱动系统起着承上启下的作用，一方面接收控制系统的信号，另一方面把属于本级的数据传递给本级的各个显示单元，同时把不属于本级的信号向下一个及联的驱动单元传输。显示屏体有许多 LED 平板显示模块组成，每一个显示模块根据不同要求有不同多个像素组成。对于全彩色显示屏，每个像素一般分别由红、绿、蓝三个基色的 LED 发光管组成，可以控制每个像素三个基色的单色灰度级，使它们组合在一起产生各种其它颜色^[6]。

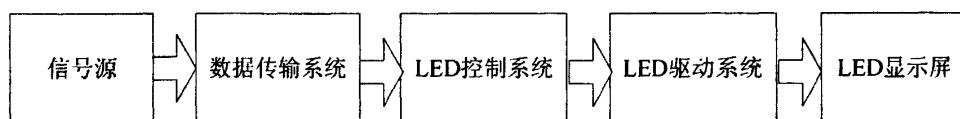


图 1.1 LED 显示系统结构

1.1.3 全彩 LED 显示屏原理

全彩 LED 电子显示屏的视觉原理与彩色电视机一样，是通过红、绿、蓝三种颜色的不同光强实现图像色彩的还原再现。红、绿、蓝的纯正度直接影响图像色彩再现的视觉效果。然而白光的三色配比不是简单的三种颜色的叠加。第一、在保证光频纯正的前提下，要求红、绿、蓝光强之比必须接近 3:6:1；第二、由于人们视觉对红色的敏感性，要求红色发光源在空间上要分散分布；第三、由于人们视觉对红、绿、蓝三种颜色光强不同的非线性曲线响应，要求对红、绿、蓝三基色视频信号进行 Y 校正；第四、人的视觉对色差的分辨能力

有限，因此必须找出图像色彩再现真实性的客观指标。为了再现真实图像色彩，在 LED 电子显示屏的配光上应满足下面一些要求：

- ① 红、绿、蓝三色的波长应分别为：625nm、525nm、470nm 左右；
- ② 红、绿、蓝三色的灰度级为 256 级；
- ③ 必须采用针对 LED 像素三基色的非线性校正。

红、绿、蓝三色配光及非线性校正可以用显示控制系统硬件实现，也可由播放系统软件实现。

1.2 LED 显示屏亮度均匀性问题的提出

目前，国内主流产品与国际品牌产品技术指标相比，在 LED 配置、亮度、视角、白场色温、驱动方式、信号处理位数、功耗、失控率等方面相差无几，但在刷新频率、亮度均匀性、外壳防护等级、重量、安全要求、产品认证等方面还有一定的差距。而且国内 LED 显示屏产品现状为：国内先进水平与国际品牌产品水平相近；国内主流产品技术雷同；国内一般产品良莠不齐；国内市场以国产显示屏为主；显示屏出口增长很快；国内产品规格多于国际品牌产品。

各种显示器都存在各种各样的缺陷，它们在光学性能方面的缺陷一般表现为：在显示器系统均匀与连续的输入信号里，任何可见的空间不均匀性（亮度、色度不均匀或者二者的结合）^[7]。本文主要研究 LED 显示屏亮度均匀评估问题。

全彩色 LED 平板显示屏在光色方面的缺陷包括亮度不均匀性和色度不均匀性两个方面。均匀性不好，显示屏就会出现“麻点”或“马赛克”^[8-9]，严重影响图像的观看效果。图 1.2 所示为 LED 显示屏“马赛克”现象。

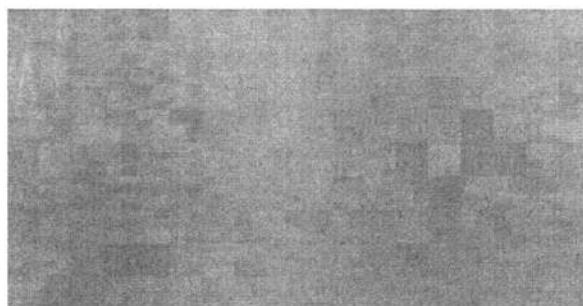


图 1.2 LED 显示屏“马赛克”现象

亮度均匀性是指同屏各个像素、模块和模组之间显示同一种颜色同一灰度时的亮度差。显示屏在亮度和色度上的不一致性造成画面的亮度差和颜色差是最影响观看效果的，通常会使画面的某一部分特别亮或暗。可以说，均匀性问题是影响 LED 显示屏观看效果的最重要的因素，同时也是最难控制的因素。造成不一致的原因主要有以下几种^[10]：

1. 每一基色的 LED 发光管亮度差异性较大。LED 平板显示屏是由成千上万个 LED 发光管组成，因其批次不同亮度也并不完全一致。即使是同一亮度批次的 LED 发光管，其亮度也存在 30~60% 的偏差，这是造成 LED 平板显示“麻点”与“马赛克”缺陷的最根本原因。

2. LED 发光管色度坐标呈离散性分布。通常同一档次的 LED 发光管主波长相差在 5nm 以内。但即使是同一波长档次的 LED 发光管，由于其发光的光谱功率分布不同，各个 LED 发光管之间也存在不可忽略的复现颜色色差。

3. LED 发光管视角不一致性。每一基色每一个发光管在空间呈现不同的光强分布比例，在某一角度亮度相同的发光管在另一角度却不同，这种问题只能靠改善 LED 发光管的制造工艺加以避免。

4. LED 发光管随时间的衰减程度不同。本来亮度均匀一致的发光管在用一段时间后就会变得不均匀。

5. 其它因素，如驱动电路的不一致性、环境温度的影响、电路设计的缺陷、结构加工的误差等都会成为不均匀性的原因。

亮度均匀性是显示屏首先要实现的目标。通过精准控制像素各基色 LED 的驱动脉宽或电流，实现控制每个像素的亮度，使显示屏的所有像素的亮度一致。目前，国内技术已经可以实现 LED 显示屏亮度的逐点校正。

在人类所获取的信息中，通过人眼的观看所得到的信息所占比例是最大的。但是由于人类视觉感官效果形成的复杂性，对于提供人眼感知信息的显示产品，其标准化问题就变得十分复杂了。近几年 LED 的主要技术和产业发展非常迅速，其应用面也不断扩大，从最早也是应用最广泛的 LED 显示屏到目前越来越热的半导体照明，其产品品种繁多，亟需有相关的技术标准和产品标准。

大批量 LED 的生产应用推动和影响着 LED 显示屏产品标准的制定。1995 年以前，作为 LED 显示应用的代表性产品 LED 显示屏发展迅速，但当时 LED 显示屏的生产无行业规范和标准可依。1996 年原电子部委托北京蓝通公司制定《LED 显示屏通用规范》，1998 年 1 月，《LED 显示屏通用规范》作为电子行业标准正式发布实施，使 LED 显示屏产业标准化工作开始走向规范。1999 年在昆明召开了 LED 器件与应用研讨会，并委托南京洛普公司起草了《LED 显示屏检测方法》，在组织讨论修改后，于 2000 年 8 月正式印发，在 LED 显示屏专业委员会成员单位试行。2003 年，修订后的《LED 显示屏通用规范》和《LED 显示屏测试方法》作为信息产业部的行业标准正式发布。

目前对于 LED 像素亮度的测试还多局限于传统的单像素式光色测量设备（如亮度计），用这种测量设备对组装好的 LED 显示屏进行亮度测量，一般一次只能测到某一基色几个 LED 像素的亮度，每测量一次必须移动仪器并且重新对焦。这样，用传统的单像素式测量仪器测量显示设备上每一个像素的亮度不但耗时费力，而且要准确测量上百万的像素是很困难的。由此可见，传统的光色测量设备对于测量 LED 显示屏逐像素光色信息数据几乎是无能为力的。

随着产业化的进程和市场竞争的加剧，对新产品的开发周期提出了越来越短的要求，如何更加迅速、便捷、准确、可靠地提取测试数据是研发工作对测试研究提出的迫切要求。能否进行多样品的一次性测试，并对样品数据进行迅速的比对，给出更加直观有效的结果；测试数据如何更加有效地进行存储、处理和管理等等都是随着生产和研究工作的纵深发展而提出的新要求。

随着现代 CCD 技术的快速发展为这一问题的解决提供了契机，目前 CCD 用于亮度、色度的采集越来越成为光色测量的发展趋势^[1]。其中，美国的 Radiant Imaging 公司最为突出，该公司成立于 1981 年，在光色量测、影像系统及照明工程用工具与服务方面居世界领先地位。

鉴于目前国内对 LED 显示屏亮度采集及均匀性评估的现状，我们有必要在这方面做更深入地研究，以便提供一套客观的评价标准，提高显示屏评估效率和精度，弥补现有测试与评估系统的不足之处。这不仅可以在相同价格下大大提高显示质量，能被客户所接受，而且可以和国外的厂家进行竞争，拓宽了显示屏的应用市场。

1.3 本文主要研究内容及意义

本文以全彩色 LED 显示屏为研究对象，以面阵单色 CCD 相机作为亮度信息采集工具。重点研究 LED 显示屏目前普遍存在的亮度不均匀性及相应的评估。对这一问题的研究涉及到信号与图像处理技术、光电子学、数字电路、视觉生理及心理学等各个方面。这一问题的研究在对 LED 显示屏上所有 LED 亮度的采集、提取、处理以及均匀性评估等方面都遇到了困难。课题的难点首先是如何将数以百万计的 LED 像素亮度信息准确地采集下来；其次是如何对亮度数据进行评估，使问题既能客观量化地得以解决，又能与人眼的主观感受相符合。解决这些问题的关键是在采用 CCD 相机进行亮度数据的采集时，减小误差，使采集到的亮度信息基本能反映各像素点的相对亮度；结合 HVS（人类视觉系统）模型，构造一种客观的评估算法，比较准确地量化评估 LED 显示屏的亮度均匀性。

本文在数字图像处理的基础上，结合视觉生理及心理学、光电子学等知识，提出了基于 CCD 图像的 LED 显示屏亮度均匀性评价算法。其内容主要分布在以下六章讲述。

第一章首先介绍 LED 显示屏的一些基本知识，接着介绍了目前 LED 显示屏亟待解决的亮度的不均匀性问题，即“马赛克”和“麻点”缺陷，分析了引起不均匀性的原因；进一步总结介绍了目前国内外对这一问题的解决办法及研究现状；最后介绍了本文的研究方法、研究中存在的几个关键问题。

第二章对 LED 显示屏亮度均匀性的评价既包含有主观视觉因素又需要客观量化评估。因此，有必要先从影响人主观视觉的因素出发，介绍一下视觉生理与心理学知识，为以后的 LED 显示屏亮度均匀性主观评估提供理论支持。本章首先介绍了人眼的构造特征，并在此基础上介绍了明暗视觉特性，结合人眼对环境的适应性，介绍了影响亮度主观评价的视觉心理因素。

第三章采用 CCD 图像传感器进行亮度信息采集，可以实现全屏或显示模块的实时、大面积像素点的亮度采集，提高了工作效率。本章主要介绍了 CCD 成像原理以及 LED 显示屏亮度采集系统的组成及特点。重点介绍了 LED 显示屏亮度的成像特点和亮度采集要求，这样可以最大限度的减少亮度采集过程中的误差。

第四章通过对 LED 像素亮度与 CCD 像元之间的分析，提出了基于区域最大值亮度信息提取方法。该方法是在设定了一定的分割阈值的情况下，对 CCD 感光图像进行目标背景分离，进而定位出区域最大值坐标，并在此基础上用模板卷积的方法提取目标区域的亮度值。最后又对 CCD 相机在亮度采集过程中可能出现的误差进行了分析。

第五章首先介绍了 HVS 系统特征，分析了 HVS 系统在数字图像质量评估中需注意的问题以及 LED 显示屏亮度均匀性评估中的作用。本章针对 LED 显示屏相对亮度信息提出了亮度不均匀性的表现。误差敏感度方法在图像质量评价中虽然应用比较广泛，但也有其局限性。本文在已有的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法的基础上提出了新的评估算法。基于灰度直方图的亮度均匀性评估算法，是对整屏亮度集中程度的一种评估方法，虽然比较方便有效，但是没考虑亮度分布的结构性以及人眼的适应性对亮度评估结果的影响。因此，在此基础上，本文又提出了基于结构相似性的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法，该方法综合

考虑了亮度集中程度、亮度分布的结构、以及亮度对比度信息，并以加权求和的方式得出最终评价结果。本章是全文的核心部分也是难点部分，这里采用的方法是在实践基础上的总结，没有最好，只有更好。

第六章是对本文所做工作的总结和展望。主要介绍了所做的工作以及本文的创新点和对援救工作的展望。

以上这些方面的研究结果将对平板显示器的显示技术有很重要的意义，在这些方面取得的进展，可以使 LED 显示屏亮度均匀性评价标准科学化，同时也掌握了具有自主知识产权的先进显示技术。

第二章 视觉生理与心理学理论基础

对 LED 显示屏亮度均匀性的评价既包含有主观视觉因素又需要客观量化评估。因此，有必要先从影响人主观视觉的因素出发，介绍一下视觉生理与心理学知识，为以后的 LED 显示屏亮度均匀性主观评估提供理论支持。本章首先介绍了人眼的构造特征，并在此基础上介绍了明暗视觉特性，结合人眼对环境的适应性，介绍了影响亮度主观评价的视觉心理因素。

2.1 亮度主观评价与视觉心理

如果把图像信息简单地看成是二维平面上具有亮暗和色彩变化的若干单个像素信息的集合，那是非常初步的认识。实践表明，对图像的认识或评价是由感觉和心理状态决定的，即图像内容和观察者的视觉心理因素有关。在主观图像评价方法中所运用的基础就是视觉心理测量学，它主要包括心理常数和心理尺度两种参量。

2.1.1 心理常数

心理常数是用常数值表示的心理参量。其中，人眼刚能感觉到的临界值称为刺激阈，如光子探测。人眼刚能分辨的两物体或物理量的临界值称为鉴别阈，如极限分辨率、对比灵敏度和图像探测阈等。还有在客观上不相同的物体或物理现象，但人眼会有等同的视觉效果，这时，两者响应的物理量值称为主观等效值。

2.1.2 心理尺度

心理尺度是相对于某一物理量的实际变化量所产生的人眼视觉主观感觉的变化，然后对感觉变化进行尺度化。通常，物理量的变化及与之相应的视觉感觉的变化之间并非都是线性关系，例如，在正常亮度范围，人眼的主观亮度感觉与客观亮度之间为对数关系。心理尺度既可以采用绝对质量尺度(打分尺度)或相对尺度(顺序尺度)，也可以采用质量尺度或干扰尺度来评价图像质量^[12]。

2.2 人眼的构造

人的眼睛是一个构造极其复杂的器官，它的构造与照相机类似，如图 2.1 所示。

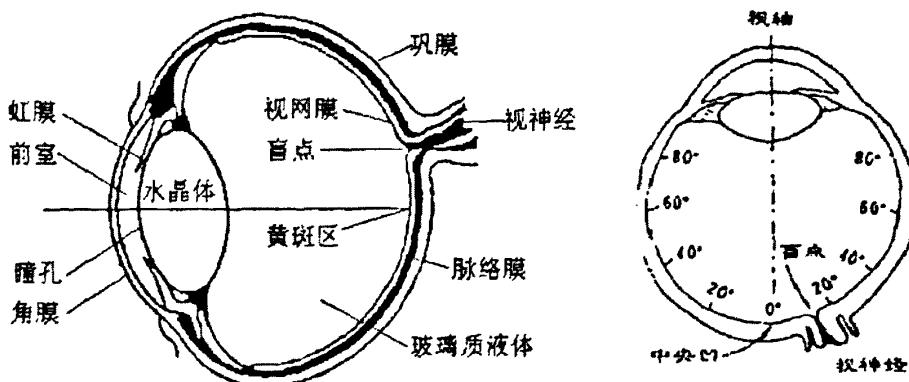


图 2.1 眼球的水平截面图

在人眼的水平截面图中，眼睛的形状为一圆球，平均直径约为 20mm，它由三层薄膜包着，即角膜和巩膜外壳、脉络膜和视网膜。角膜是一种硬而透明的组织，它盖着眼睛的前表面，巩膜与角膜连在一起，巩膜是一层包围着眼球的剩余部分的不透明的膜。脉络膜位与巩膜的里边这层膜包含有血管网，它是眼睛的重要滋养源，脉络膜外壳着色很重要，因此有助于减少眼内的外来光和眼球内的反射。在脉络膜的最前面被分为睫状体和虹膜。虹膜的收缩和扩张控制着允许进入眼内的光量。虹膜的中间开口处即瞳孔，它的直径是可变的，约为 2mm~8mm。虹膜的前部含有眼睛的明显的色素，而后部则含有黑色素^[13,14]。

进入人眼的光线，首先接触的是眼球正前方 1/6 处的透明的角膜，角膜后面是不透明的虹膜，虹膜中间有一小圆孔称为瞳孔。在虹膜环状肌的作用下，瞳孔的直径可以在 2mm~8mm 间调节，从而控制进入人眼的光通量，起到照相机光圈调节的作用。瞳孔后面是一扁球状的弹性透明体，称为晶状体，相当于照相机镜头的作用。它在睫状肌的作用下，可以调节曲率，改变焦点焦距，使不同距离的景物可以在视网膜上成像。光线照在物体上其透射或反射光的分布就是“图”。

而人的视觉系统对图的接收在大脑中形成的印象或认识就是“像”。前者是客观存在的，后者是人为感知的，图像就是二者的合一。

2.3 明视与暗视

眼睛最里层的膜是视网膜，它布满在整个后部的内壁上，当眼球被适当的聚集，从眼睛的外部物体射来的光就在视网膜上成像。在整个视网膜表面分布的光接收器造成了图案视觉。这种光接收器可分为两类：锥状体和杆状体。在正对晶状体轴线的视网膜上，有一个集中了大量锥状细胞的黄斑区，它们主要位于视网膜的中间部分，叫做中央凹。锥状细胞的直径为 2~6 μm，长约 40 μm，每只眼睛中有锥状体的数目在 600 万到 700 万之间。它对颜色很敏感，人们用这些锥状体能充分地识别图像的细节，控制眼睛的肌肉使眼球转动，从而使人们感兴趣的物体的像落在视网膜的中央凹上。锥状细胞主要是在强光下检测亮度和强光信息。每个锥状细胞均连接着一个视神经末梢，因此黄斑区的分辨率极高，形成人眼的明视^[15]。

在视网膜的其它部分分布着杆状细胞，直径约 $2\text{--}4 \mu\text{m}$ ，长约 $60 \mu\text{m}$ ，杆状体数目更多，约有 7500 万个到 15000 万个，分布在视网膜的表面上，因为分布面积较大并且几个杆状体接到同一根神经的末端上，因而使接收器能够接收的细节的量减少了，故对细节分辨率较低，只能给出视野中一般的轮廓。它们能在弱光下检测亮度信息，但没有色彩的感觉，只对低照明度的景物较敏感。例如，在白天呈现鲜明颜色的物体，在月光之下却没颜色，这是因为只有杆状体受到了刺激，因而又叫夜视觉，这也是为什么我们在路灯等光线弱的情况下，能看清物体的形状和灰度但看不清物体的颜色，也看不清物体的细节的原因。

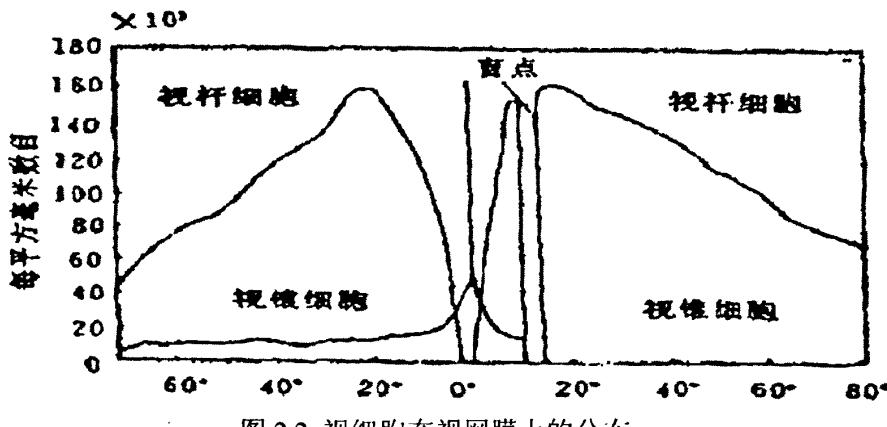


图 2.2 视细胞在视网膜上的分布

视锥细胞与视杆细胞统称为视细胞。图 2.2 表示出了视细胞在视网膜上分布的情况。以眼球水平方向上的圆周作为水平距离的度量，黄斑中心在鼻侧的是视神经的汇聚点，没有视细胞，就形成了“盲点”。对落入盲点的图像人眼则无法看到^[16]。

视细胞受到光的刺激产生电脉冲，电脉冲沿着神经纤维传递到视神经中枢。由于各细胞产生的电脉冲不同，大脑就形成了景象的感觉。

2.4 人眼的适应性

眼睛中的晶状体与普通的光学透镜之间的差别在于前者的适应性强，晶状体前表面的曲率半径大于后表面的曲率半径，见图 2-1。晶状体的形状由睫状体的韧带的张力来控制。为了对远方的物体聚集，控制用的肌肉就使晶状体变得较扁平。同样，为了使眼睛近处的物体得到聚集，肌肉就使晶状体变得较厚。

当晶状体的折射能力由最小变到最大时，晶状体的聚集中心与视网膜之间的距离约由 17mm 缩小到 14mm。当眼睛聚集到远于 3m 的物体时，晶状体的折射能力最弱，当聚集到非常近的物体时，其折射能力最强。因此人眼距图像的距离不同时，对图像的质量评测结果也不一样。同时，利用这一数据，将易于计算出任何物体在视网膜上形成图像的大小。正如前面所指出的，视网膜图像主要反映在中央凹的面积上。然后由光接收器的相对刺激产生感觉。这样，感觉把辐射来的能量转变为电脉冲，最后由大脑判出来。

由于数字图像是作为许多离散的亮点来显示出来的，因此眼睛对于不同亮度之间的鉴别能力是对图像质量评价的一个重要方面，人的视觉系统能够适应光强度的范围是很宽的，由夜视阈值到强闪光之间光强度的级别约为 10^{10} 级，

相当多的实验证据表明主观亮度是进入人眼内的光强度的对数函数^[17-20]。这一特性示于图 2-3, 它表示光强度与主观亮度之间的关系。长的黑线代表人的视觉系统所能适应的光强度范围。昼视觉范围为 10^6 , 由夜视觉到昼视觉是逐渐过渡的, 过渡的范围大致由 0.001 到 0.1 毫朗伯。

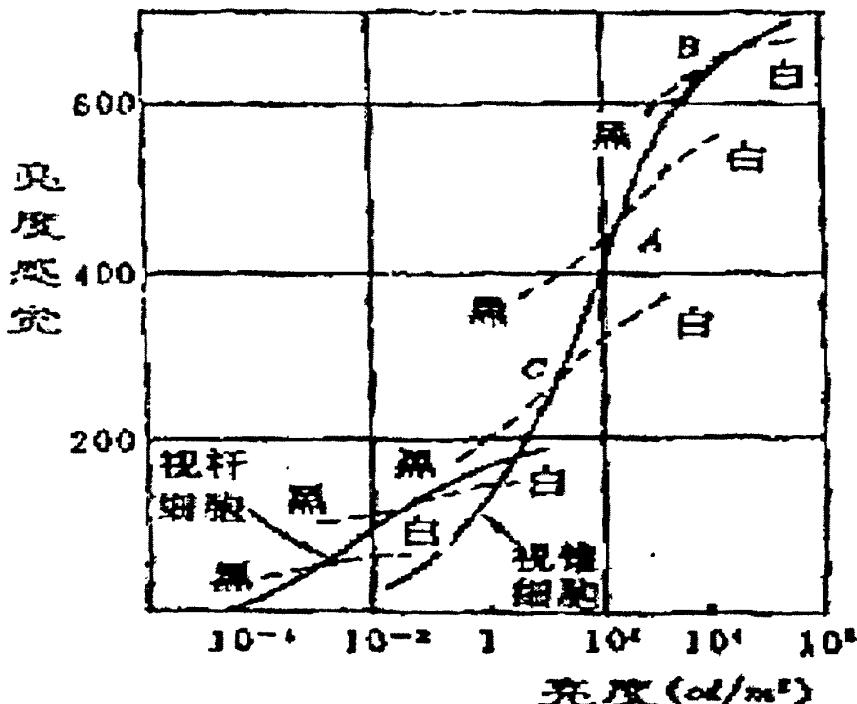


图 2.3 人眼对亮度的适应性

图 2.3 的横坐标是用对数比例尺绘制的, 可以看出, 该曲线中间较长的一段满足线性关系。而且人眼的视觉范围是很宽的, 但并非在任何平均亮度下都那么宽。图中虚线表示了在适应了与实线相交点所对应的亮度情况下, 人眼的相对视觉范围。显然在适应不同的平均亮度后, 视觉范围是不同的, 而且这一范围也是有限制的, 即在虚线的下端以下, 所有的刺激都是作为不可分辨的黑来理解的。另外, 在同一亮度下, 对于适应于不同平均亮度的人来说, 其主观感觉亮度也是不一样的。如 A 点的亮度对于已适应 C 点的人来说, 可能十分明亮, 但对于已适应 B 点的人来说, 却感到十分黑暗。

以上是从人眼的构造及视觉心理等方面做出的视觉与亮度关系的分析, 对于 LED 显示屏亮度均匀性的评价还受其他因素的影响, 如视觉距离, 周围亮度, 屏幕分辨率, 像素点间距和亮度设置等。可以根据生理和心理学知识, 通过模拟 HVS 的特性来得以实现, 这将在以后章节中进行详细分析。

第三章 基于 CCD 相机的亮度信息采集

亮度信息的采集是 LED 显示屏亮度均匀性评估的前提。本文采用 CCD 图像传感器进行亮度信息采集，可以实现全屏或显示模块的实时、大面积像素点的亮度采集，提高了工作效率。本章主要介绍了 CCD 成像原理以及 LED 显示屏亮度采集系统的组成及特点。重点介绍了 LED 显示屏亮度的成像特点和亮度采集要求，这样可以最大限度的减少亮度采集过程中的误差。

3.1 CCD 相机在 LED 亮度采集中的优越性

亮度是 LED 显示屏最重要的光学性能指标，它表示 LED 显示屏单位面积上的发光强度，是体现 LED 显示屏高亮度指标的重要参数。在显示屏行业，亮度一般指最大亮度，《LED 显示屏通用规范》(SJ/T11141-2003) 中定义最大亮度为“在一定环境照度下，LED 显示屏各基色在最高灰度级、最高亮度时的亮度”^[21, 22]。最简单、最普遍的 LED 显示屏亮度测试一般采用亮度计，测量精度在 4-5% 左右，每次只能测量一个点或区域的亮度信息，每换一个点或区域都要重新移动仪器或目标，并需要重新对焦，速度慢、不灵活，同时，采用这种测量仪器也决定了不可能在短时间内实现对 LED 平板显示屏上成百万像素的亮度信息的采集。因此亮度计适应于 LED 显示屏在检测、验证、评估等简单问题上的亮度测量。

电荷藕合器件 CCD (Charged Coupled Device) 于 1969 年在贝尔试验室研制成功，其发展已经有 30 多年的历史。它主要是由一个类似马赛克的网格、聚光镜片以及垫于最底下的电子线路矩阵所组成。多年来，CCD 以其解析度高、动态范围大、感光面积大、光电转换效率高以及功耗小等优点，已经在摄像、信号处理和存贮三大领域中得到广泛的应用，尤其是在图像传感器应用方面取得令人瞩目的发展。CCD 图像传感器分为线阵和面阵两种，面阵 CCD 的每一个光敏元件代表图像中的一个像素，当快门打开时，整个图像一次同时曝光；线阵 CCD 每次只拍摄图像的一条线。

3.2 CCD 成像原理

CCD 由一种高感光度的半导体材料制成，能把光信号转变成电荷，通过模数转换器芯片转换成数字信号，数字信号经过压缩以后由相机内部的闪速存储器或内置硬盘卡保存，因而可以轻而易举地把数据传输给计算机，并借助于计算机的处理手段，根据需要来修改图像。

图 3.1 所示为单色 CCD 成像原理。景物反射的光线通过镜头透射到 CCD 上。当 CCD 曝光后，光电二极管受到光线的激发释放出电荷，CCD 控制芯片利用感光元件中的控制信号线路对光电二极管产生的电流进行控制，由电流传输电路输出，CCD 会将一次成像产生的电信号收集起来，统一输出到放大器。经过放大和滤波后的电信号被送到 A/D，由 A/D 将电信号（此时为模拟信号）转换为

数字信号，数值的大小和电信号的强度即电压的高低成正比^[23]。这些数值就是图像的灰度数据，代表所成图像的亮度信息。每个感光单元数据代表一个像素灰度值，由 8 位二进制数组成，对应 0-255 的灰度值。

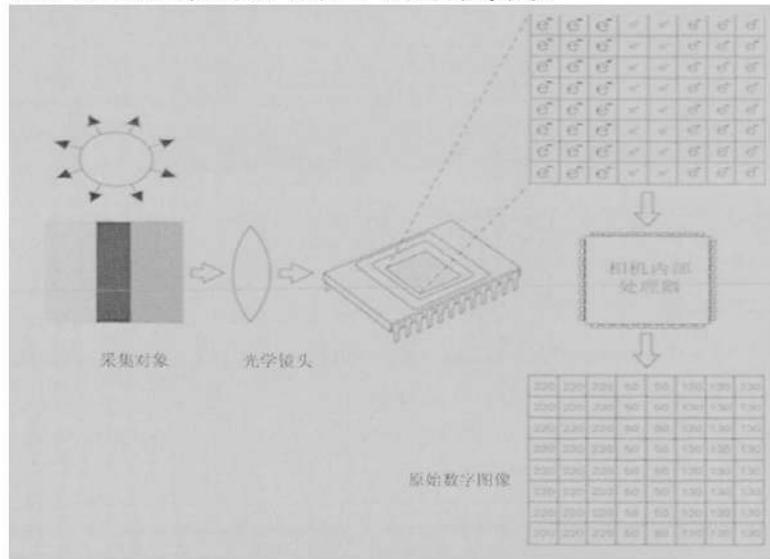


图 3.1 单色 CCD 成像原理

CCD 由许多感光单元组成，通常以百万像素为单位。当 CCD 表面受到光线照射时，每个感光单位会将电荷反映在组件上，所有的感光单位所产生的信号加在一起，就构成了一幅完整的画面。和传统底片相比，CCD 更接近于人眼对视觉的工作方式。只不过，人眼的视网膜是由负责光强度感应的杆细胞和色彩感应的锥细胞，分工合作组成视觉感应。

3.3 采集系统组成及特点

LED 显示屏亮度信息采集系统由 CCD 相机，数字接口卡，计算机，图像处理系统，误差修正系统组成，其结构如图 3.2 所示。拍照时 CCD 相机位于 LED 显示屏正前方，并且使相机镜头与显示屏边沿最大夹角在 2 度范围内，这样可以减小 LED 显示屏像素视角亮度误差；采集到的亮度信息通过数字接口卡以图像的方式保存到计算机；图像处理系统将 CCD 图像中所包含的 LED 像素亮度特征数据提取出来，并生成亮度数据矩阵；误差修正系统将拍照时的角度误差及 CCD 相机的感光误差进行修正，得到比较接近真实亮度分布的 LED 显示屏相对亮度信息。

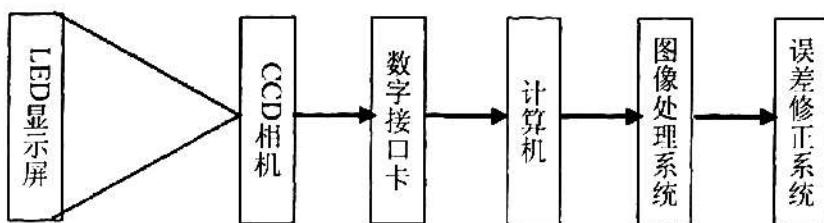


图 3.2 LED 显示屏亮度采集系统

3.4 CCD 成像特点及亮度采集要求

通过 CCD 相机可以快速准确的获得 LED 显示屏感光图像。与传统亮度计采集方法相比可以在短时间内获取大量的亮度信息，提高了工作效率。感光图像在一定程度上表征了 LED 显示屏的光学特性。因此通过对感光图像的分析和处理可以实现对显示屏某些光学性能的分析。

图 3.3 所示为一蓝基色 128×64 像素点的 LED 显示屏模块的 CCD 感光图像。从图像可以看出，每个 LED 像素由若干个 CCD 像元组成，每一个像元的值代表了 LED 像素在 CCD 感光面上的感光强度。黑色背景为 LED 像元未感光区或感光较弱区域，其它较亮的像元组为具有一定灰度值的 CCD 像元感光区域，图像中 CCD 像元组基本反映了一个 LED 像素的亮度特征，从整体上反映了显示屏亮度特征。

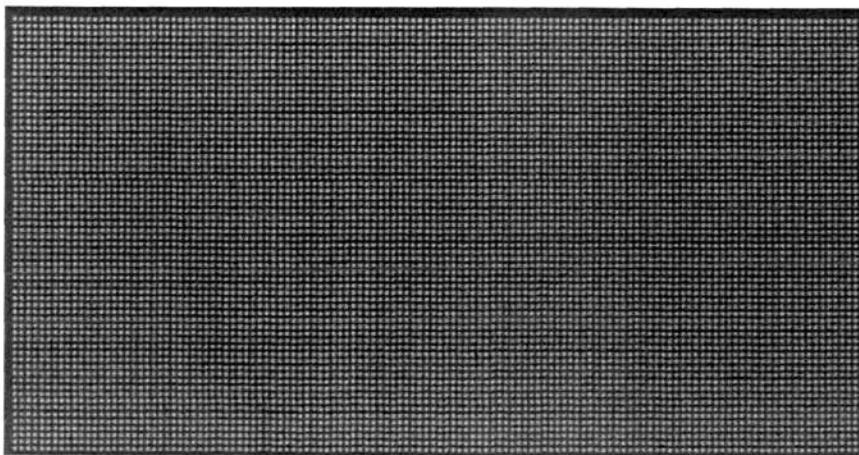


图 3.3 LED 显示屏模块的 CCD 感光图像

1. 采集面积要求。

CCD 像元分辨率以百万为单位，所以用它可以采集到数以十万像素的 LED 显示屏亮度信息，并且能比较真实地反映其相对亮度，进而为评价 LED 显示屏亮度均匀性提供了必要条件。

CCD 相机光圈大小决定了进光量的多少，也决定了采集到的 LED 亮度信息

的可靠性，光圈越大，进光量越多，采集到的 LED 亮度值越大，但是受背景及环境光的影响也越大，会给 LED 亮度信息的提取增加噪声；光圈越小，进光量越少，采集到的 LED 亮度值越小，这样采集到的亮度信息会因阈值过小而无法分离提取。相机焦距的调整决定了拍摄景物的面积大小，若保证采集到的亮度比较可靠地反映 LED 像素的真实亮度值，必须保证 CCD 像元数与 LED 像素数存在一定比例，一般不少于 16:1。例如若用一台像元分辨率为 1392×1040 的 CCD 相机采集 LED 显示屏亮度信息，理想状态下最多能采集 348×260 像素的 LED 显示屏。如果采集的 LED 显示屏面积过大，会因 LED 像素亮度所占 CCD 像元数过少而影响采集效果。

2. 采集视角要求。

在对 LED 显示屏亮度采集的过程中，采集角度对亮度的影响较大。这是因为 LED 封装时所采用的出光面形状和 LED 芯片距顶部透镜的位置决定了 LED 视角和光强分布，不同封装类型的 LED 管视角也不同。如椭圆形 $\phi 5$ LED 管发光面形状为扁椭球形，即发光面在水平方向上较宽在垂直方向上较窄。《LED 显示屏测试方法》中给出的评估标准中，显示屏无可觉察的亮度差，相邻象素（模块）亮度差小于 5%，本文对 P16 户外 LED 显示屏模块实验得出了该类 LED 管的视角及光强分布情况（具体分析见第四章）。

单管光强降低 5%的水平角度约为 R: 11 度，G: 26 度，B: 23 度，垂直角度约为 R: 6 度，G: 11 度，B: 12 度。即对单管来说在水平 $R \leq \pm 5.5$ 度， $G \leq \pm 13$ 度， $B \leq \pm 11.5$ 度，垂直 $R \leq \pm 3$ 度， $G \leq \pm 5.5$ ， $B \leq \pm 6$ 度范围内观察和采集数据才不会使采集到的亮度信息受到影响。同样，对于箱体来讲，水平 $R \leq \pm 4$ 度， $G \leq \pm 11$ 度， $B \leq \pm 11$ 度，垂直 $R \leq \pm 2$ 度， $G \leq \pm 2$ 度， $B \leq \pm 3$ 度范围内观察和采集数据才不会使采集到的亮度信息受到影响。因此，在用 CCD 相机进行远距离亮度数据采集时，镜头与 LED 显示屏的水平边界的夹角最好在 5 度范围内，与垂直边界的夹角最好在 2 度范围内，这样可以尽可能避免由采集方式引起的亮度误差，使所采集到的亮度信息尽可能接近实际亮度分布情况。对于表贴类型的 LED 显示屏光强降低 5%的观察角度可适当放大。

3. 拍照距离要求。

由上面对 P16 室外 LED 显示屏光强角特性的分析可知，在 LED 显示屏光强降低 5%范围内的观察角度不能超过 5 度。这也决定了在亮度采集过程中的采集距离。一般来讲，在用 CCD 相机进行 LED 显示屏亮度采集时保证相机镜头垂直对准屏幕中心，距离屏幕的垂直距离由公式（3-1）式决定。

$$d = \frac{w/2}{\tan \alpha} \quad (3-1)$$

其中 w 代表屏幕宽度， α 代表采集角度， d 代表采集距离。屏幕宽度 w 由公式（3-2）决定。

$$w = p \times m \quad (3-2)$$

其中 p 代表 LED 像素间距， m 代表屏幕一行上的像素数。亮度采集距离如 3.4 所示。

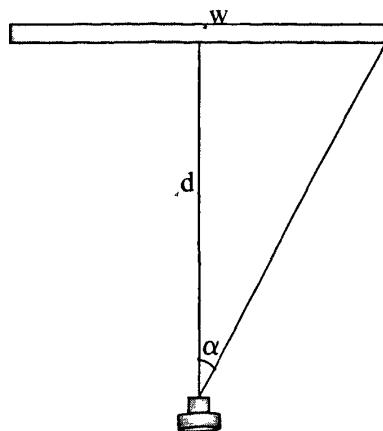


图 3.4 亮度采集距离平面图

亮度采集角度在 5 度范围内时，

$$\tan \alpha \approx \alpha \times \pi / 180 = A \quad (3-3)$$

即亮度采集角的正弦值近似等于它的弧度值，所以，公式 (3-1) 亦可写成：

$$d = \frac{w/2}{A} \quad (3-4)$$

通过以上分析可知，不同点间距的屏对其采集距离的要求也有所不同，例如点间距为 $p=12\text{mm}$ 的 LED 显示屏，若采集单行像素点数为 256 个，按照公式 3-4 计算，其亮度采集距离不能低于 17.6m 。不过，这主要是对单管直插式户外 LED 显示屏亮度采集距离的要求，对室内或其他标贴 LED 像素封装模式的屏，由于其视角相对较大，所以亮度采集距离可适当减小。

第四章 亮度数据处理

亮度是 LED 显示屏重要的一种光学性能指标，本文主要是采用单色 CCD 相机对显示屏 RGB 三基色进行亮度信息的采集。由于 CCD 像元感光强度与物体反射光呈线性关系，因此可以用 CCD 感光图像中的灰度信息来表示 LED 像素的相对亮度值。本章通过对 LED 像素亮度与 CCD 像元之间的分析，提出了基于区域最大值亮度信息提取方法。该方法是在设定了一定的分割阈值的情况下，对 CCD 感光图像进行目标背景分离，进而定位出区域最大值坐标，并在此基础上用模板卷积的方法提取目标区域的亮度值。最后又对 CCD 相机在亮度采集过程中可能出现的误差进行了分析。

4.1 LED 感光单元的识别

LED 显示屏由数以万计的 LED 像素组成，在由 CCD 图像传感器采集到的感光图像中，每个感光单元的值代表一定的灰度。感光图像包含了 LED 像素的空间位置，发光形状及发光强度等信息。每个 LED 像素在感光图像中由若干个 CCD 感光单元相对应。

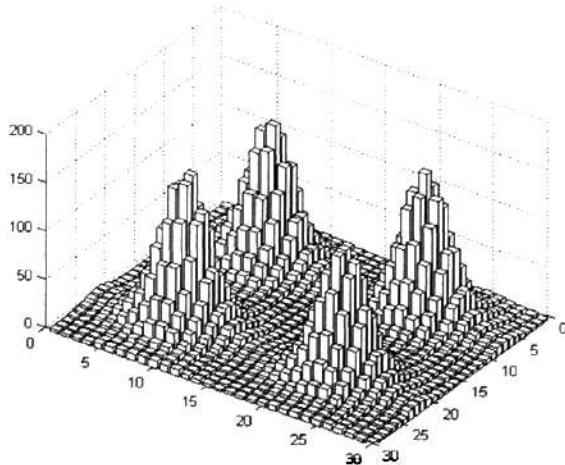


图 4.1 LED 感光图像的灰度分布

图 4.1 是 2×2 像素点 LED 显示屏模块各像素点的 CCD 感光图像的亮度分布。从图中可以看到，单个 LED 显示像素的亮度分布并不是一个平面，而是一个曲率半径不同的曲面，而且代表目标亮度特征的感光单元所组成的灰度区域也并不是理想中规则的圆形。图中每个目标区域中感光单元的灰度值由中心到四周逐渐减小，靠近目标中心处感光单元的灰度值最大，而在目标周围（即背景区域）灰度值很小。假设整屏共有 $M \times N$ 个 LED 像素，其中任意一个像素亮度可表示成 P_m ，对应于该像素的 CCD 感光单元数为 $(I \times J)_m$ ，其中每个 CCD 感光单元的灰度值为 $f_m(i, j)$ ，则它们之间的关系可表示为^[21]：

$$P_{mn} = \sum_{i,j=1}^{I,J} f_{mn}(i,j) \quad (4-1)$$

根据以上分析，可将每个 LED 像素的亮度特征数据提取出来并生成灰度图片。图片由代表 LED 像素亮度值的 0~255 灰度范围的数值表生成。

4.2 几种 LED 亮度信息提取方法

由于灰度的缓慢变化，这些有效感光像素不仅存在于视觉可以感知到的感光单元中心较亮的区域，在较暗区域也大量存在。因此，有必要选取一定的算法，对有效感光单元进行识别、分割和亮度数据提取。

已有的算法有：一，等间距分割处理算法；二，基于像素识别的处理算法。

等间距分割处理算法是根据 LED 显示屏像素分布及发光形状特征，将感光图像分割成等大小的方格区域，每个区域内部的感光单元的亮度值的和代表着一个 LED 像素的相对亮度值。假设 LED 像素数为 $M \times N$, CCD 感光单元数为 $P \times Q$ 。则在水平和垂直方向上的间距分别为 M/P 和 N/Q 个感光单元。这种算法相对简单，但是 LED 显示屏是由若干模块组合而成的，由于机械拼装过程中模块间隔不一致性导致像素间隔不等距离；还有在拍照过程中，难免会造成图像几何失真，例如倾斜或梯形图像等。这样，等间距分割会盲目将一些有效像素分割到其他目标区域去，甚至造成混乱。

基于像素识别的处理算法是将每一个 LED 像素看成是一个独立的目标，根据目标与背景在亮度上存在的灰度梯度差别，通过背景分割每一个 LED 显示像素，进而识别它们^[17]。此方法是将目标与背景分离后的图像进行二值化处理，然后进行区域标示，即按照一定的顺序将同一个区域用相同的整数表示出来，如果整屏有 $M \times N$ 个 LED 像素则有 $M \times N$ 个整数标示这些区域。由于二值化图像中每一个目标区域的大小不一定相同，此方法对每个区域的标号不一定与实际 LED 像素排列顺序一致，所以需要对标号按照坐标位置进行重新排序，排序后的标号对应的坐标位置与 LED 像素点的位置完全一致，这样就可以方便提取 LED 亮度信息了。此种方法对部分几何失真的图像处理起来准确度比较高，但是如果图像中有较暗的点或者不亮点，这些目标区将在前期的处理时被当作背景，这样就会出现标号错误，致使目标亮度信息无法提取。

4.3 基于区域最大值的亮度提取算法

4.3.1 算法理论基础

在 LED 显示屏感光图像中，尽管目标与背景存在着灰度梯度的差别，但是要想把相关数据准确提取出来，必须先确定每个目标的发光形状和亮度区域。这就需要确定合适的阈值把目标和背景先分离开。其次是选取适当方法将 LED 亮度特征数据提取出来。

1. 阈值选取与图像分割。图像阈值自动选取方法的研究长期以来吸引着众多学者，寻找简单实用、自适应强的阈值自动选取方法是这些研究者们的共同

目标。Otus 在 1979 年提出的大类间方差法一直被认为是阈值自动选取的最优方法。该方法简单，在一定条件下不受图像对比度与亮度变化的影响，因而在实时图像处理系统中得到了广泛的应用。结合 LED 显示屏感光图像的特点，本文选用图像阈值自动选取方法—Otus 方法。此种方法是基于灰度直方图，通过计算最大化类间方差来确定阈值。其表述如下：

记 $f(i, j)$ 为 $M \times N$ 图像 (i, j) 点处的灰度值，灰度级为 m ，则 $f(i, j) \in [0, m-1]$ 。记 $p(k)$ 为灰度值为 k 的频率，则有： $p(k) = \frac{1}{MN} \sum_{f(i,j)=k} 1$ 。假

设用灰度 t 为阈值分割出目标与背景分别为 $\{f(i, j) \leq t\}$ 和 $\{f(i, j) > t\}$ ，取 $\delta = f(i, j)$ 为任意点灰度值，于是：

$$(1) \text{ 目标部分比例: } \omega_0(t) = \sum_{0 \leq \delta \leq t} p(\delta)$$

$$(2) \text{ 背景部分比例: } \omega_1(t) = \sum_{t < \delta \leq m-1} p(\delta)$$

$$(3) \text{ 目标灰度均值: } \mu_0(t) = \sum_{0 \leq \delta \leq t} \delta p(\delta) / \omega_0(t)$$

$$(4) \text{ 背景灰度均值: } \mu_1(t) = \sum_{t < \delta \leq m-1} \delta p(\delta) / \omega_1(t)$$

$$(5) \text{ 总灰度均值: } \mu(t) = \omega_0(t)\mu_0(t) + \omega_1(t)\mu_1(t)$$

用此方法求图像最佳阈值 T 为：

$$T = \operatorname{Arg} \max_{0 \leq t \leq m-1} [\omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu(t))^2 + \omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu(t))^2] \quad (4-2)$$

4-2 式括号内实际上就是类间方差值，因方差是灰度分布均匀性的一种度量，方差值越大，说明构成图像的两部分差别越大。阈值 T 分割出的目标和背景两部分构成了去噪后的二值图像^[25, 26]。

2. 目标区域亮度提取方法。CCD 感光图像可以被认为时三维的，用 x 和 y 坐标记录感光单元的位置， z 轴记录的是灰度值，灰度值类似于地形图中的高度，图像中的高灰度值和低灰度值相当于地形图中的山峰和低谷^[27]。本算法利用灰度谷峰值运算来确定目标最大值位置。在目标特征数据提取算法中，需要用到卷积、模板卷积和卷积投影等概念。下面对它们进行定义。对于图像像素

亮度 $f(i, j)_{MN}$, $i=1 \dots M$, $j=1 \dots N$ 。模板亮度值 $f(i, j)_{P \times Q}$, $P < M$, $Q < N$ 。

$$\text{垂直卷积 } V: V[j] = \sum_{i=1}^M f(i, j) \quad (4-3)$$

$$\text{垂直卷积投影 } V_p: V_p[j] = \frac{1}{M} V[j] \quad (4-4)$$

$$\text{垂直模板卷积 } V_m: V_m = P_{ij} \left\{ \sum_{k=i-p/2}^{i+p/2} \sum_{l=j-q/2}^{j+q/2} f(k, l), i=1 \dots M \right\} \quad (4-5)$$

其中前两个公式为一维向量，第三个公式为二维向量^[28]。与其对应的水平

方向上向量的定义方法与之类似，在此不再赘述。

4.3.2 算法流程

通过以上分析可以看到，全局域值和区域最大值坐标的确定是两个关键步骤。本文采用的算法既可以对任何灰度的 CCD 图片比较智能化地分离出目标与背景区域，又能在目标区域的亮度求和时不会轻易涉及到其他区域的灰度值。因此在解决这两个问题时较以往方法有了较大的改进。本算法在实施过程中的流程如图 4.2 所示。

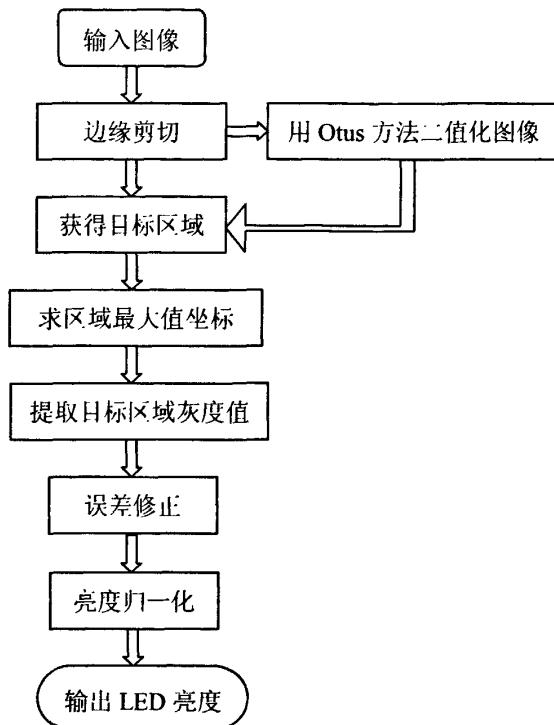


图 4.2 LED 亮度特征数据提取算法流程图

对输入图像首先进行剪切，然后利用 Otus 方法进行阈值分割，将目标和背景分离生成二值化图像，此二值化后的图像可以作为模板进行后面的亮度提取操作。然后在目标背景分离后的图像中求目标区域最大值坐标，以区域最大值坐标为参照，利用上面得到的模板进行 LED 像素相关联区域的灰度求和，此时得到的数据为 CCD 相机若干像元灰度数据之和，比较间接地反映了 LED 的亮度特征，为了表示方便，可将这些数据归一化到 0-255 范围内的数。这就是 LED 亮度特征数据的提取流程。

4.3.3 LED 亮度特征数据的提取

LED 亮度信息的采集是对显示屏亮度校正及评估的前提，因此要求采集到

的亮度数据既准确可靠，又能客观反映 LED 像素的相对亮度。按照上一章对图像采集的要求获得亮度信息。

1. 图像预处理。一般情况下，采集回来的图像都会包括大量的不包含任何 LED 显示像素的边界，图 4.3 所示为一幅 32×16 像素的 LED 显示模块。在进行图像处理时，如果不剪切掉这些冗余的边界信息，会降低图像的处理速度，而剪切掉这些冗余边界丝毫不会影响图像处理的精度，更有利于亮度信息的提取图。

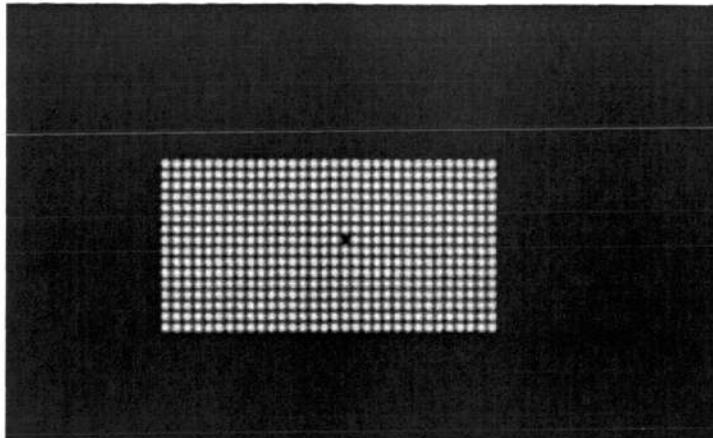
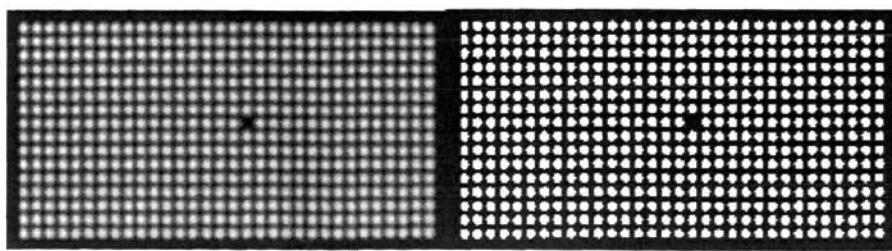


图 4.3 原始图像

4.4(a) 为图 4.3 经过边缘剪切后的图像。理想状态下，LED 显示像素的背景应该为全黑，即灰度值应该为 0，但由于 LED 显示像素发光本身有一定的发光面积，造成图像上背景部分也会有较小的灰度值。要想获得 LED 亮度信息，首先必须选择适当的阈值将背景部分灰度值置零，这样可以在分离出目标区域和背景的图像上进行 LED 像素的亮度提取。本文采用 Otsus 算法进行自动阈值选取。通过上一节的分析可以看到，该方法是以图像的所有像素灰度分布比例为基础，首先确定初始阈值 T_0 ，分离出目标和背景两类灰度区域，然后按照公式（4-2）通过递归运算计算出两类灰度值间的类间方差为最小时的阈值 T 即为所求阈值，然后以此阈值分离出目标与背景区域，并将其二值化，目标区域置 1，背景置 0，阈值分割后的图像如图 4.4 (b) 所示。



(a) 原始感光图像

(b) 阈值分割后的二值图像

图 4.4 LED 显示屏模块感光图像阈值分割

图 4.5 是图 4.4 对应的灰度直方图，其横轴代表灰度等级，范围为 0~255；纵轴代表每个灰度级所分布的 CCD 像素数。从图 4.5 (a) 中可以看出该 CCD 图像的灰度几乎占有了所有灰度等级，其中大部分分布在灰度值比较低的范围内。这是因为，在暗室条件下对 LED 显示屏亮度信息采集，背景虽无亮度但受 LED

像素亮度的影响其灰度也不为零。图 4.5(b)则是在背景和目标区域分离后的灰度直方图, 阈值灰度 $T=96$, 即灰度值大于 96 的被视作 LED 像素亮度在 CCD 感光单元的有效亮度值。

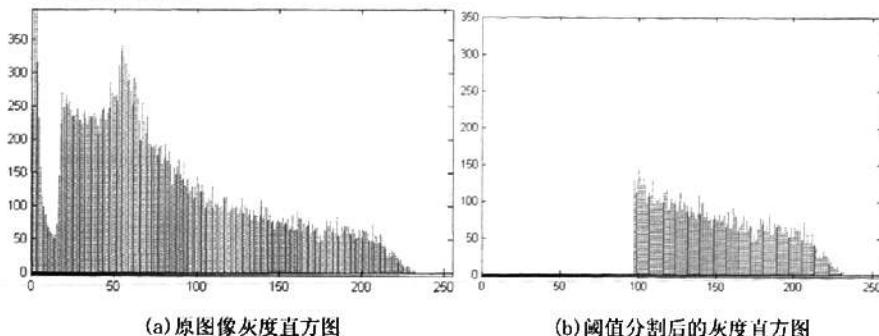


图 4.5 阈值分割前后图像的灰度直方图

利用 Otus 方法去噪并二值化的图像, 大于阈值 T 的灰度置 1, 小于阈值 T 的灰度置 0, 并将其保存为模板 $f(i, j) P \times Q$ 。图(a)(b)对比可以发现, Otus 阈值选取法保证了 LED 像素在感光图像上的发光形状及感光区域的不变性, 因此不会造成 LED 像素亮度特征数据的丢失。经过去噪后的图像既保持了 LED 像素亮度信息的相对完整性又使各像素之间不互相连通。由于连通区域的封闭性, 每一个目标区域的灰度峰值即为感光单元最大值如图 4.6(a)所示。在此需要说明的是, 由于在一个目标区域的感光单元中可能有若干最大值, 所以该运算会保留所有区域最大值, 并将其他值置零。

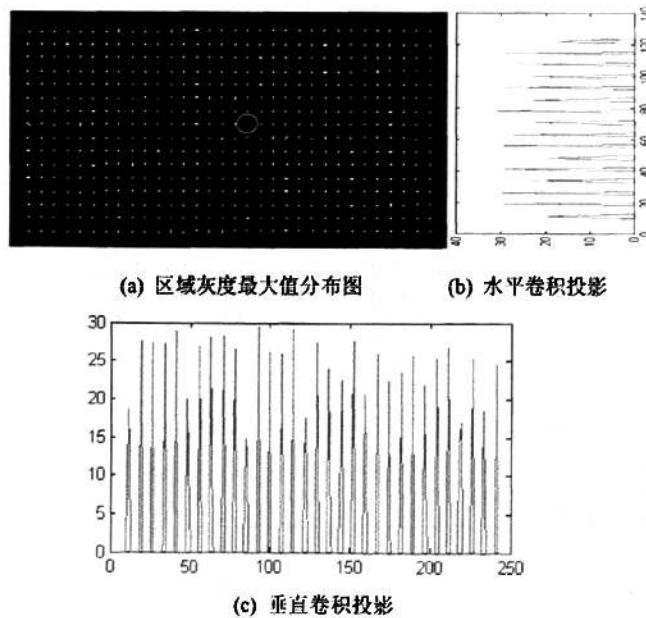


图 4.6 区域最大灰度值

图 4.6(a)每个亮点代表原图像目标区域最大值, 与原图像相比, 两个有效像素点间的距离更大了, 这有利于处理部分几何失真的图形。还可以看到图中在第 18 列第 8 行处没有出现区域最大值, 这说明在原图中这个像素点感光区域较暗或者是一个不亮点, 从而被当成背景处理了。为避免将某些目标作为背景