



LED调光调色驱动设计 及光通信定位技术

上海大学自动化系 刘廷章

liutzh@staff.shu.edu.cn

2017.04.15



汇报提纲

- 一、背景及意义
- 二、**LED**多基色混光原理
- 三、三基色**LED**灯具的亮度、色温独立调控
- 四、三基色**LED**混光优化
- 五、三基色**LED**的应用拓展—室内光通信定位
- 六、结论与展望





一、背景与意义

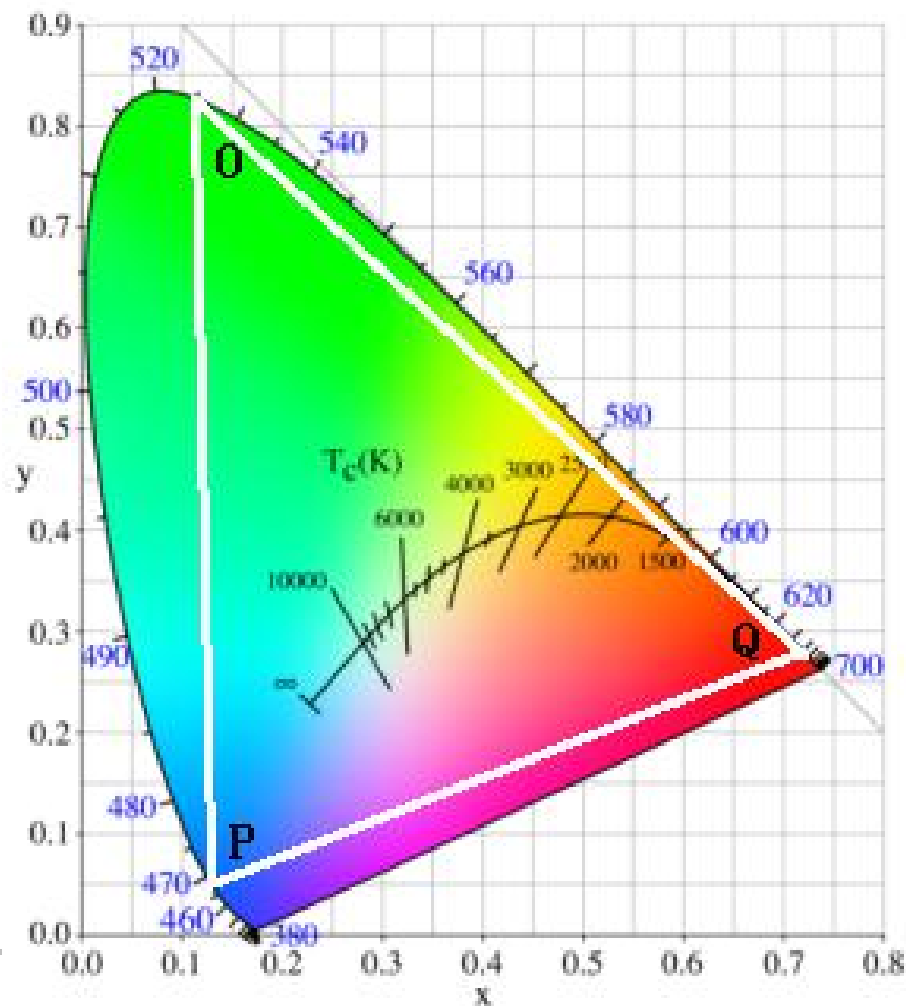
- 全球能源紧张，节能环保成为共识
- **LED**是实现绿色照明的重要途径，政策面的新型城镇化建设、一带一路建设等带来新机遇
- **LED**智能照明方兴未艾，热度不断提升，可以更好地发挥**LED**的独特优势
- **LED**产业的下个杀手级应用—光通讯(**LiFi**)（中村修二）开始起步；**2014**英国**0.5瓦/1.1Gbps**传输距离达到**10米**；我国可见光通信系统关键技术研究突破，实时通信速率至**50Gbps**（工信部**2015.11.14**）
- **2016年**：我国半导体照明产业整体产值**5216**亿，较**2015**年**4245**亿增**22.8%**，**LED**照明产品**80**亿只同比增**33%**。白炽灯禁售；荧光灯**40**亿只同比降**6.08%**。



二、LED多基色混光原理

1、CIE1931标准色度系统

- 用亮度系数 Y 和颜色坐标 x 、 y 描述光源和物体的颜色
- x 与红色有关， y 与绿色有关
- T_c (K) 为白光色温曲线
- 假设所选的三种基色分别为 O 、 P 、 Q ，则根据混光原理，通过不同比例的三色混光，可以得到色度图上三角形 OPQ 内任意一个颜色点





二、LED多基色混光原理

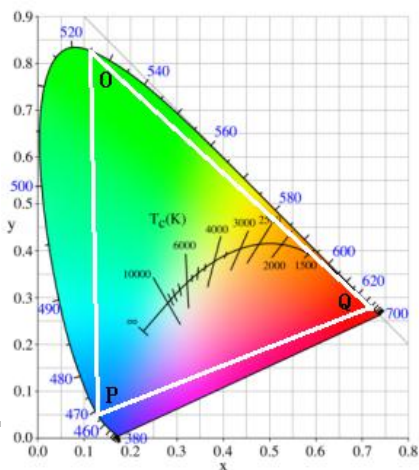
2、基于三基色LED的混光

设所取的三种基色的色坐标分别为P (x1,y1) , O (x2,y2) , Q (x3,y3) , 设要配出的白光色坐标为M (xmix, ymix) , 亮度为Ymix, 相应的三刺激值分别为M (Xmix, Ymix, Zmix) , P (X1, Y1, Z1) , O (X2, Y2, Z2) , Q (X3, Y3, Z3) 。

$$\begin{cases} X_{mix} = X_1 + X_2 + X_3 \\ Y_{mix} = Y_1 + Y_2 + Y_3 \\ Z_{mix} = Z_1 + Z_2 + Z_3 \end{cases}$$



$$\begin{cases} x_{mix} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i} + \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{y_i} (1 - x_i - y_i)} \\ y_{mix} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i} + \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{y_i} (1 - x_i - y_i)} \\ Y_{mix} = \sum_{i=1}^n Y_i \end{cases}$$





二、LED多基色混光原理

$$A = \begin{bmatrix} \frac{X_1 - X_{mix}}{Y_1} & \frac{Y_2 - Y_{mix}}{Y_2} & \frac{Y_3 - Y_{mix}}{Y_3} \\ \frac{Y_1 - Y_{mix}}{Y_1} & \frac{X_2 - X_{mix}}{Y_2} & \frac{X_3 - X_{mix}}{Y_3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \quad \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Y_{mix} \end{bmatrix}$$

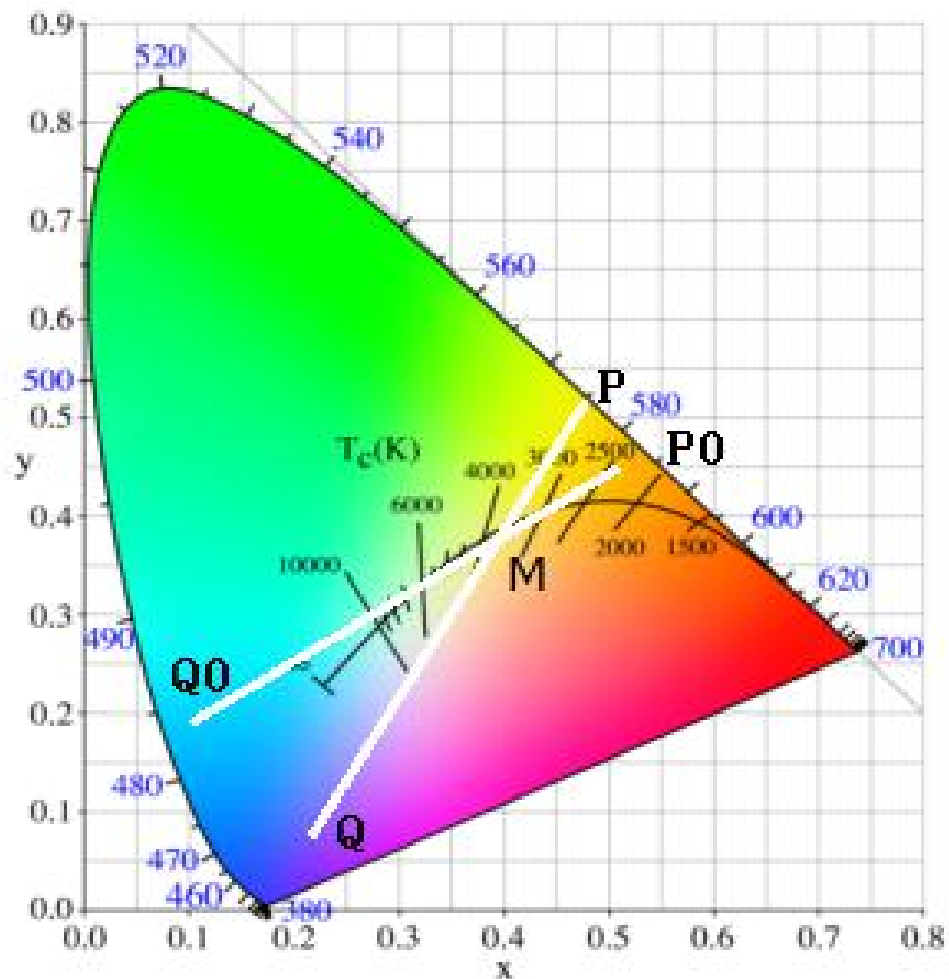
结论：

- 已知三基色**POQ**，可通过调节三基色的亮度比例**Y1：Y2：Y3**，得到期望的白光**M**（**xmix，ymix**），色温为**T_{CM}**；
 - 对于某一要求的白光色坐标和色温，可有不同的三基色亮度比例**Y1：Y2：Y3**，但对应不同的白光**M**亮度**Ymix**；
 - 为得到期望色温并亮度最大，需要优化亮度比例**Y1：Y2：Y3**
- 

二、LED多基色混光原理

3、基于二基色LED的混光

- 假设所选的两种基色为Q、P，通过调节二基色亮度比例，可混出QP线段中任意一个颜色点
- 二基色混光只能得到与 T_c (K) 曲线交点处的白光，色温不可调
- 要二基色混光得到可调色温白光，需采用以下特殊方法



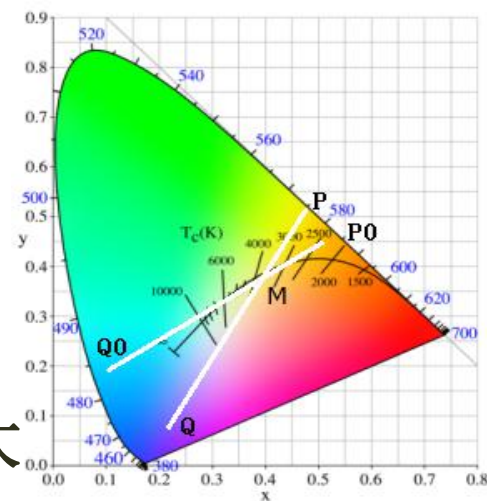


- 设期望白光M (x_{mix} , y_{mix})，亮度 Y_{mix} ，二基色Q (x_1 , y_1)，P (x_2 , y_2)，相应的三刺激值分别为M (X_{mix} , Y_{mix} , Z_{mix})，Q (X_1 , Y_1 , Z_1)，P (X_2 , Y_2 , Z_2)。
- 计算目标白光M到直线QP的距离，当小于限值时，则认为此二基色Q、P可以混光得到目标白光M，混光比例系数K1、K2:

$$\frac{QM}{MP} = \frac{k_1(X'_1 + Y'_1 + Z'_1)}{k_2(X'_2 + Y'_2 + Z'_2)}$$

结论:

- 白光精度不高、成本低，电路简单
- 如果Q、P基色选择不好，可能无解或偏差很大
- Q、P需要优化选择，如图中的Q0、P0
- 改变K1、K2，混光得到的真实光点M'将在QP线上移动，与M'最近的白光点M也将在Tc线上移动，从而实现白光色温调节





三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

1、色温亮度独立调控整体方案

- 光源：三种基色LED混光
- 驱动器：三基色LED每路独立驱动
- 控制器：对每路独立PWM调光

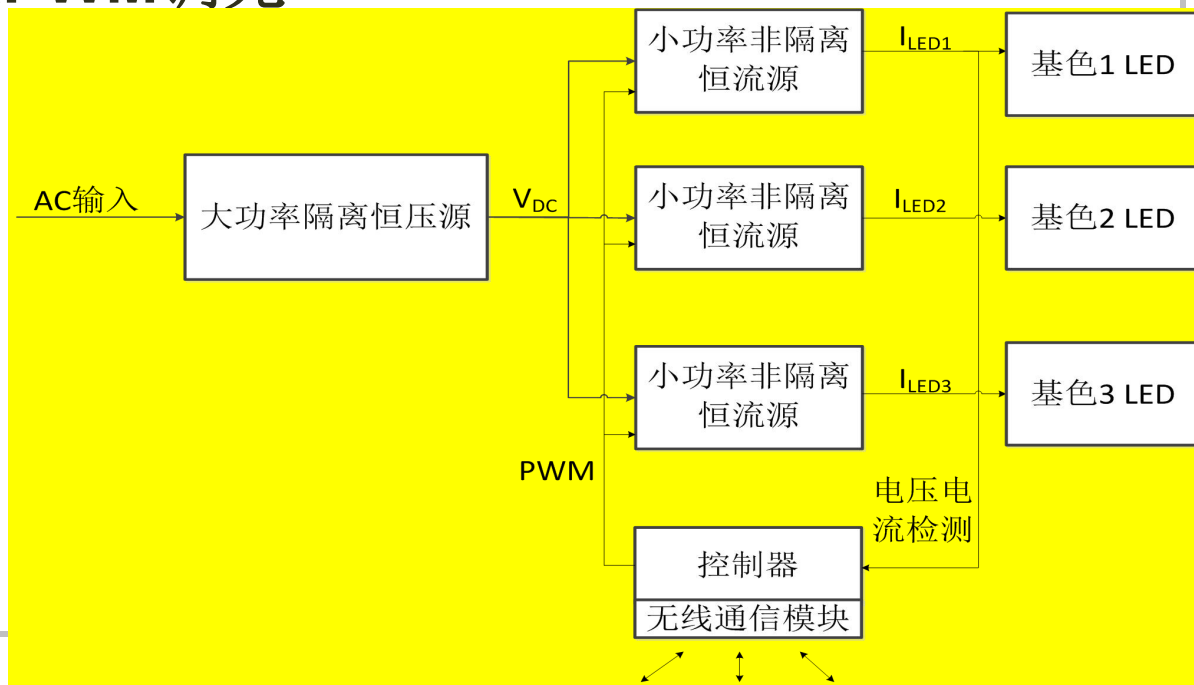
- 独立调控算法：

调节三基色的调光比

$Y1:Y2:Y3$ ，调节白光

色温；同比例变化

$Y1/Y2/Y3$ ，调节亮度

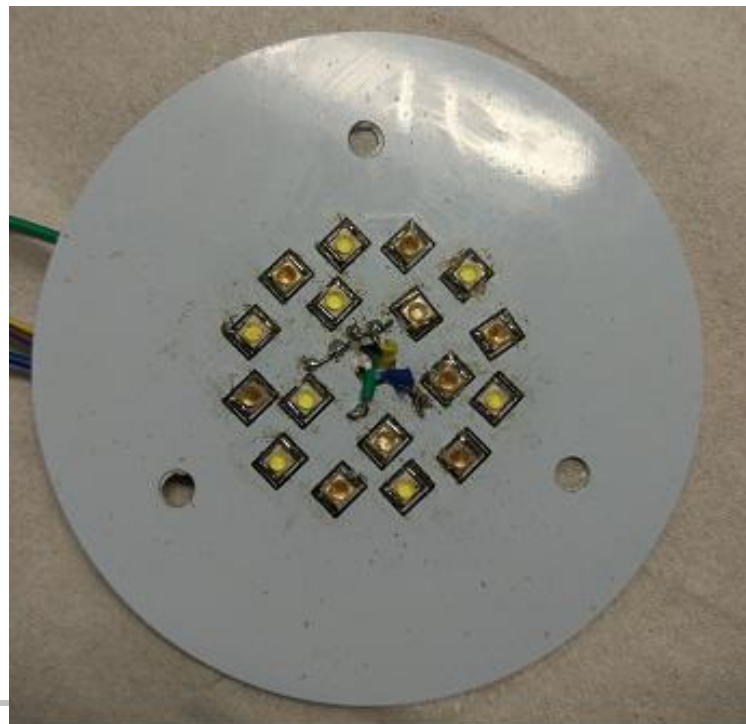




三、三基色**LED**灯具的亮度、色温独立调控

2、光源设计

- 采用琥珀色、蓝色和薄荷色三种基色**LED**（350mA/3.3V）进行混光，共17颗大功率**LED**，色温范围2700~6500K，调光范围：0%~100%
- 三基色独立驱动，每路串联
- 圆形灯盘，**LED**交错分布





三、三基色**LED**灯具的亮度、色温独立调控

3、高效驱动电源设计

难点：

- 各基色独立调控需要多路**LED**驱动电路，这样**LED**灯具的恒流驱动往往面临电路体积和性能的矛盾
- 驱动电路一般需要集成于灯具内部，故对于驱动电路要求体积小、发热少
- 同时驱动电路又要满足恒流精度、隔离、电磁兼容、功率因数校正等要求

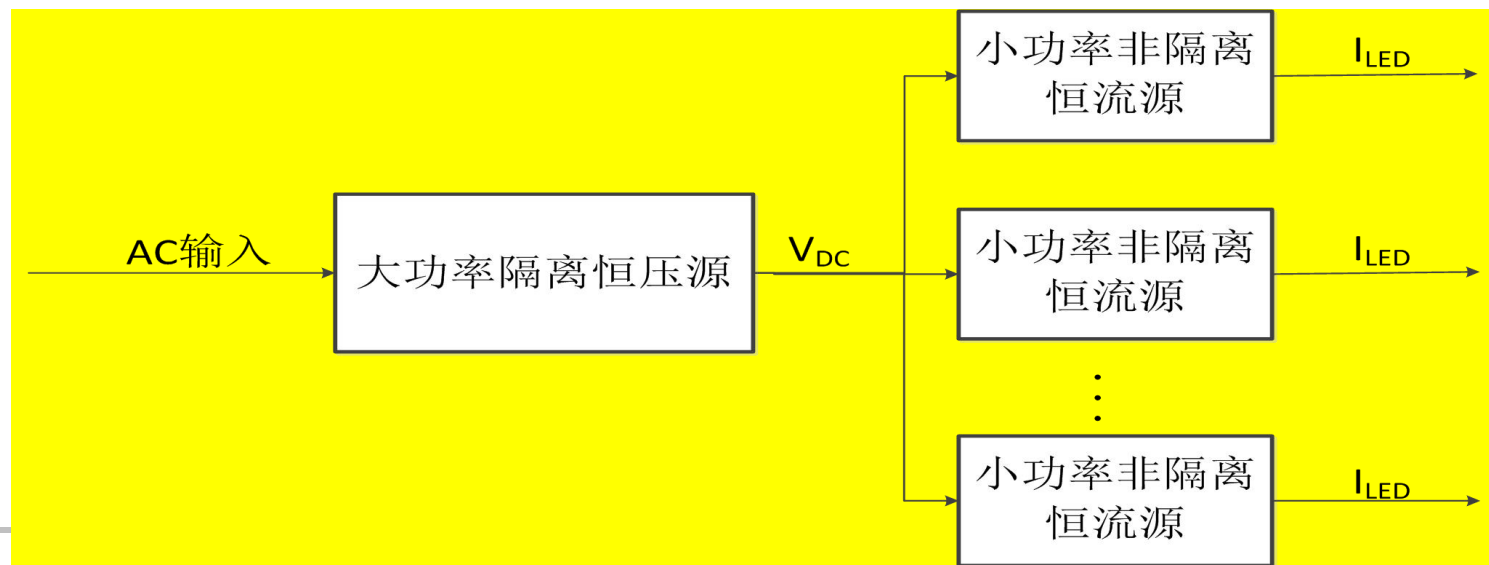




三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

解决思路：

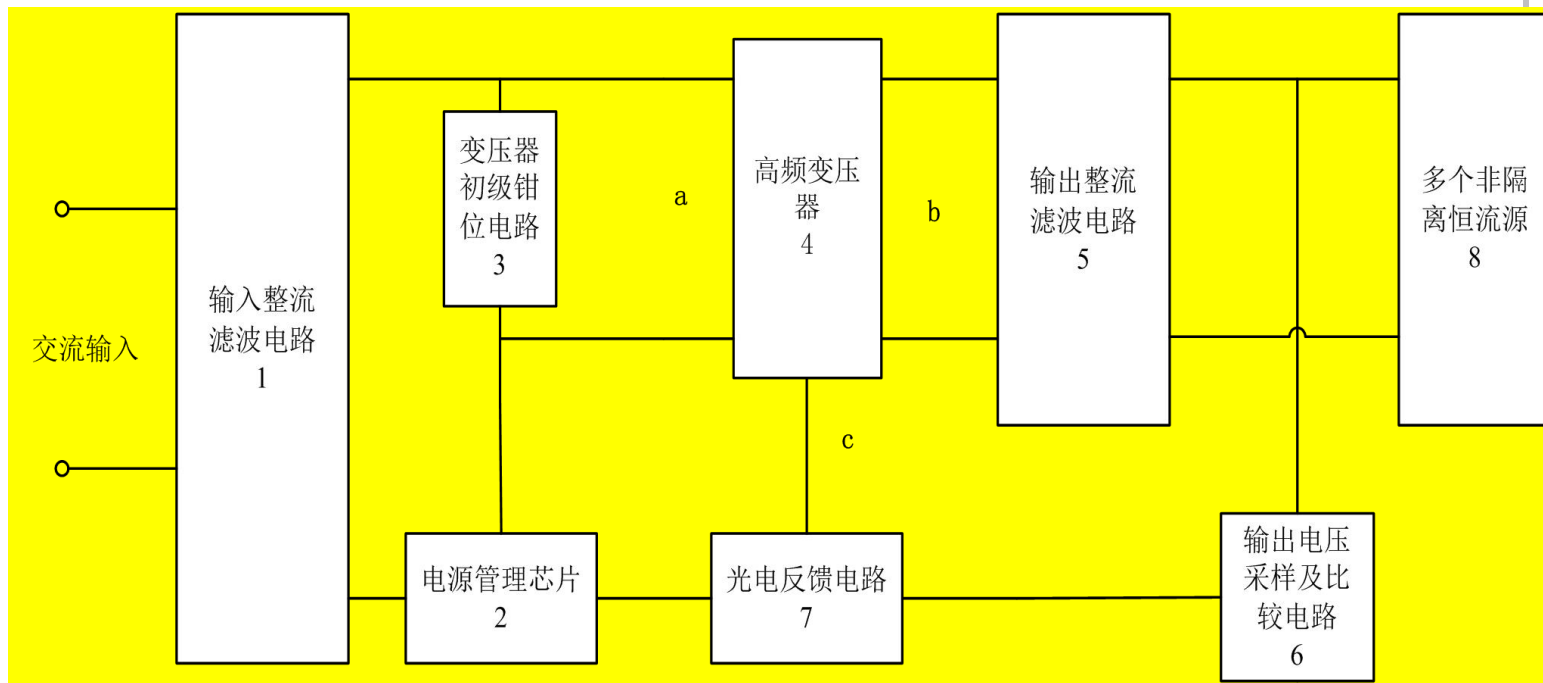
- 集中恒压、多路恒流、模块化设计、统一群控，集中恒压解决宽范围稳压、电气隔离、**PFC**、**EMC**、保护等共性问题，分路恒流可采用高效电路拓扑结构及灵活调光方式
- 优点：电源综合性能好、可靠性高，电源架构通用性强，易实现整个电源的统一调光及与总控系统的运行协同。



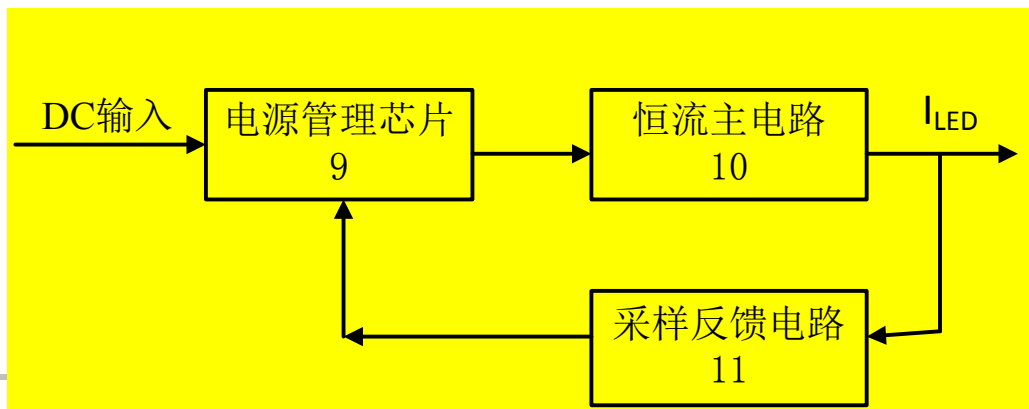


三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

恒压部分：
反激变换
拓扑



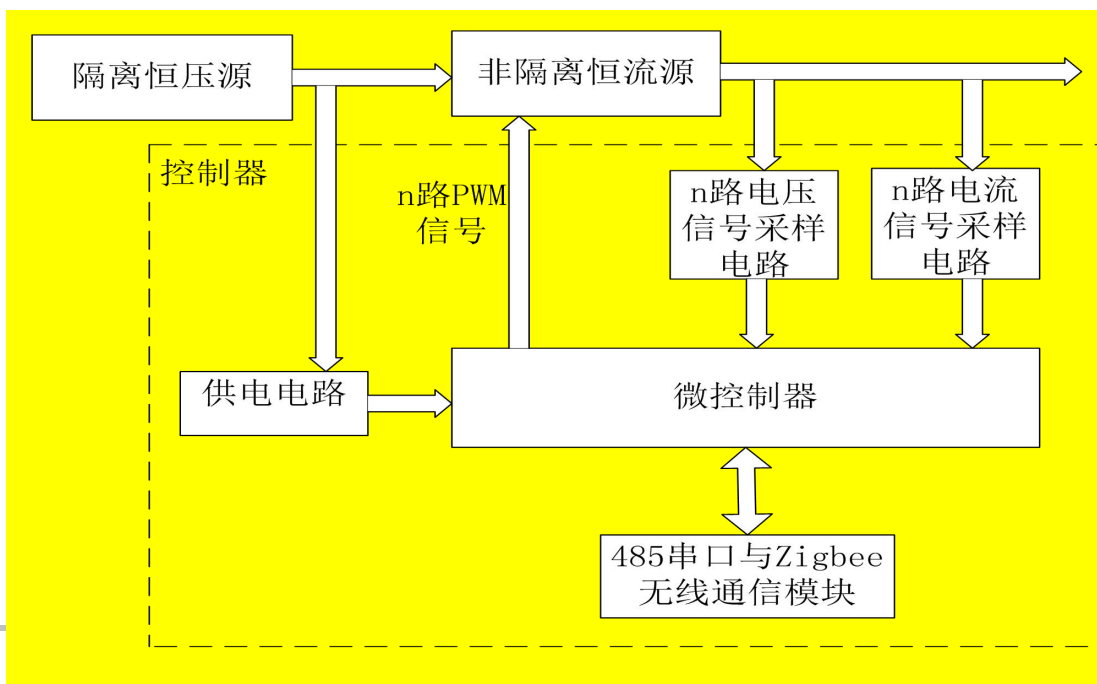
恒流部分：
Buck型DC/DC拓扑



三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

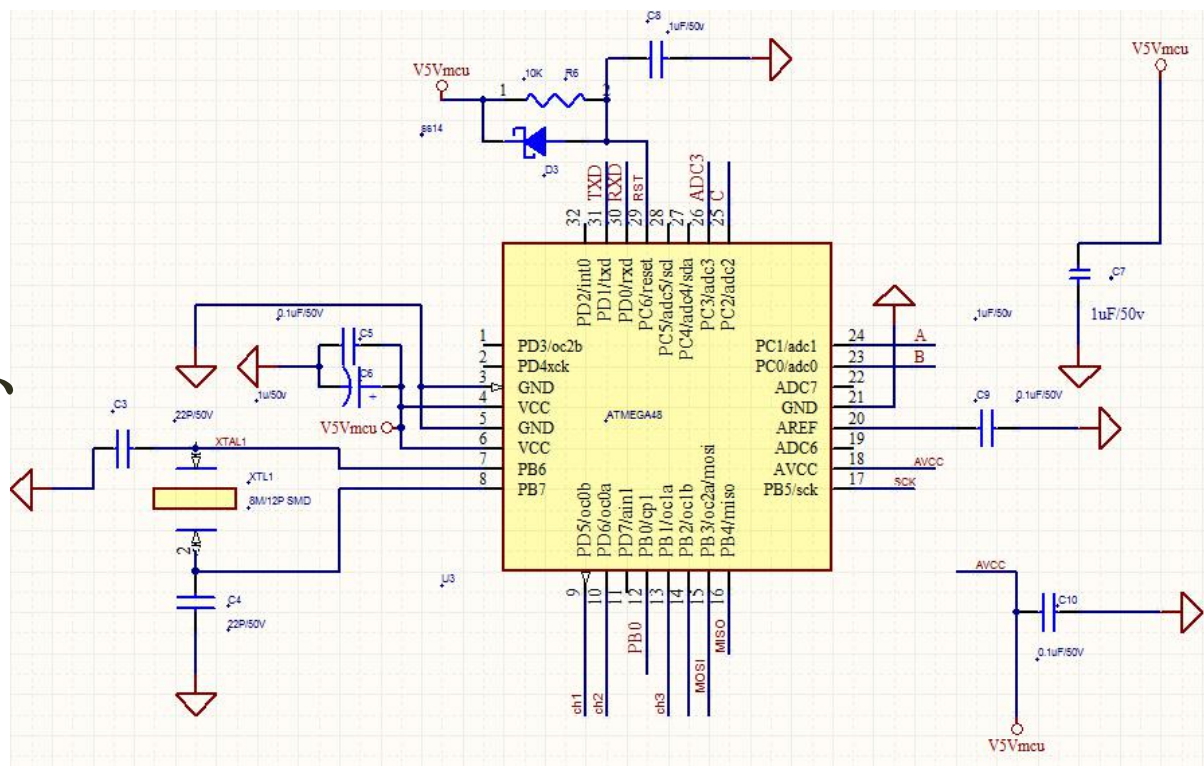
4、控制器设计

- 灯具中的控制器采用精简形式以减小体积便于集成
- 主要功能：接收上位机设定的亮度、色温值，计算各基色LED串的PWM占空比并输出，检测每路电压电流并上传到上位机
- 可由上位机设定多种工作模式
- 通过无线通信与上位机交互，可减少布线，灯具位置也可以灵活变动



三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

- 控制器：
- 主芯片采用 **ATmega48**;
- 外围电路主要包括晶振、复位、采集、**Zigbee**接口等
- **Zigbee**采用半功能节点作为终端节点

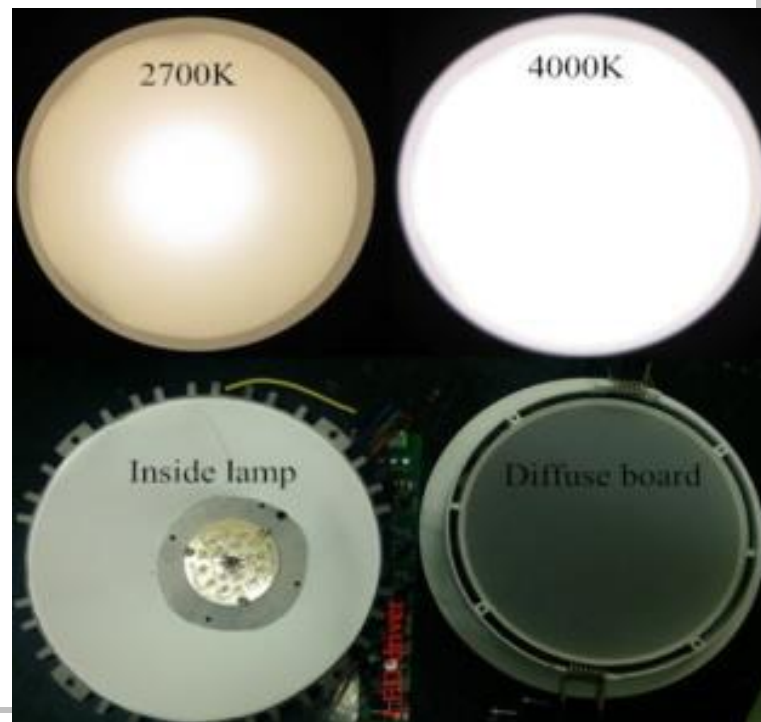




三、三基色LED灯具的亮度、色温独立调控

5、三基色LED灯具主要技术参数

- 色温调节范围: **2700K~6500K**
- 调光范围: 亮度**0%~100%**
- 调节方式: **Zigbee**无线方式
- 输入电压: **220VAC**
- 功率: **21W~30W**
- 灯罩形状: 圆形





四、三基色LED混光优化

1、问题的提出

- 基本问题：前述三基色混光方法中，针对期望的混光色温，可有多组三基色亮度组合 $\{Y_1, Y_2, Y_3\}$ ，但混光出的亮度不同，从而影响灯具整体出光率
- 优化问题：已知三基色和期望混光色温，求取最优解（ Y_1, Y_2, Y_3 ），在满足期望混光色温的条件下，使 Y_{mix} 最大

$$\begin{cases} 0.0207Y_w - 2.4687Y_A + 9.6753Y_B = 0 \\ -0.4567Y_w + 0.4744Y_A + 11.5319Y_B = 0 \\ Y_{mix} = Y_w + Y_A + Y_B \end{cases}$$

$$\max Y_{mix}(Y_w, Y_A, Y_B)$$

$$\text{s.t. } Y_w \in [0, 1048]$$

$$Y_A \in [0, 525]$$

$$Y_B \in [0, 56]$$





四、三基色LED混光优化

2、基本方案

- 针对前述优化问题，采用人工鱼群优化算法搜索最优解
- 在色温调节范围**2700K~6500K**内，针对不同色温点进行优化得到最优解（**Y1, Y2, Y3**）；所有色温与对应最优亮度组合形成表格，存入灯具控制器中
- 调光时，以设定色温点优化出的最大白光亮度**Y_{mix}**为该点额定亮度，三基色按照相同的调光比减小亮度，实现调节亮度而不影响色温
- 实现既满足色温、亮度独立调控，又保证**LED**灯具高出光率



四、三基色LED混光优化

3、人工鱼群算法及其改进

- 人工鱼群算法：一种受鱼群行为启发的群智能优化算法，通过模仿鱼群的觅食、聚集、追尾和随机等行为，在解空间中寻找最优解。算法简单，全局搜索能力强，但解精度不高，在算法后期收敛率慢
 - 人工鱼群算法的改进：
 - 引入相对基强化学习算法优化人工鱼种群在解空间的分布
 - 引入一个三参数Lorentzian函数来改进固定视域为自适应视域
 - 为平衡迭代速度和解精度，引入正态分布函数作为自适应权重算子改进移动步长
- 



四、三基色LED混光优化

4、优化结果

使用薄荷色、琥珀色、蓝色三基色LED混光，期望色温点**4000K**

- 表中 Y_{mix} 为由算法搜索出的最优解光通量值， Y_w 、 Y_A 和 Y_B 分别是薄荷、琥珀、蓝色最优光通量值，以此占空比分别控制三色LED，即可混光得到要求色温白光，同时出光率更高

LED	最优解	实际可提供光通量	比例
Y_w	1048.00	1048.00	100.00%
Y_A	129.43	525.00	24.65%
Y_B	30.71	56.00	54.83%
Y_{mix}	1208.13	1629.00	74.16%

- 实测结果比较：表中三基色、冷暖两色为其他文献结果

方案	色温	颗粒利用率	显色指数	光效 Lm/W	调色范围
三基色	3000K	34.89%	-	22.24	大
冷暖两色	4000K	57.5%	80.87%	95	小
本方案	4000K	74.16%	94.1%	80.64	中



五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

1、室内定位的应用需求

- 人员室内定位与导航：如大型商场、超市、机场、展览馆等
- 商业行为分析：根据定位信息分析客户消费习惯等，帮助商家精准营销
- 位置感知：根据个人定位信息提供周边资源和个性化服务
- 安全救援：室内突发事件发生时，可定位出求助者的位置,也可以定位救援人员的位置，有助于快速准确的救援
- 特殊人群监控：在医院、疗养院、监狱等可提供特殊人群的室内实时位置信息，实现全方位监控
- 智能设备自主定位：如机器人、**AGV**室内自定位与路径规划





五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

2、目前主要的室内定位技术

- **GPS**卫星定位：在室内受建筑遮挡影响，无法直接用
- 红外定位：发射机与接收机间视距传播，易受障碍物影响，易受环境光干扰
- 超声波定位：设备发射超声波、接收回波，硬件成本高，易受障碍物影响、多径效应影响
- 射频定位：设备发射参考信标点信号、目标接收信号，信号可穿越障碍物，覆盖区域大，易受噪声干扰。可用多种信号实现，如**WSN**、**WIFI**、**Bluetooth**、**Ultra-wideband**等
- 惯性导航定位：依靠自身传感器全天候自主导航，无需环境设备支持，传感器包括加速度计、陀螺仪、磁力计等，有积累误差，需持续校准，辅助定位。





五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

3、LED用于室内定位的优势

- LED灯兼顾照明与定位，无需额外的基础设施，方便低成本
- 相比其他技术，可方便拓展到高精度的3D定位服务
- LED光通信不会产生电磁干扰，也不易受外部电磁干扰影响，可用于对电磁干扰敏感的特殊场合，如医院，加油站等
- 与射频通信相比，LED光通信带宽资源丰富，不需获得管理机构的授权

种类	成本	精度	功耗	扩展性	通信能力	覆盖范围
超声波	高	米级	高	弱	弱	3m-5m
红外线	高	米级	高	弱	弱	5m
超宽带	高	分米级	低	强	一般	3m-5m
蓝牙	较高	亚米级	高	强	一般	10m-15m
WIFI	低	米级	高	强	强	50m-100m
RFID	低	米级	中	强	一般	1m-10m
光通信	低	厘米级	低	强	强	3m-5m



五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

4、总体方案

- 以LED灯具为室内参考点，LED为信号发射源，摄像头接收
- 采用单灯-单摄像头成像定位技术
- 系统构成：LED灯具，摄像头，处理器

- 工作原理：

灯具发位置ID码

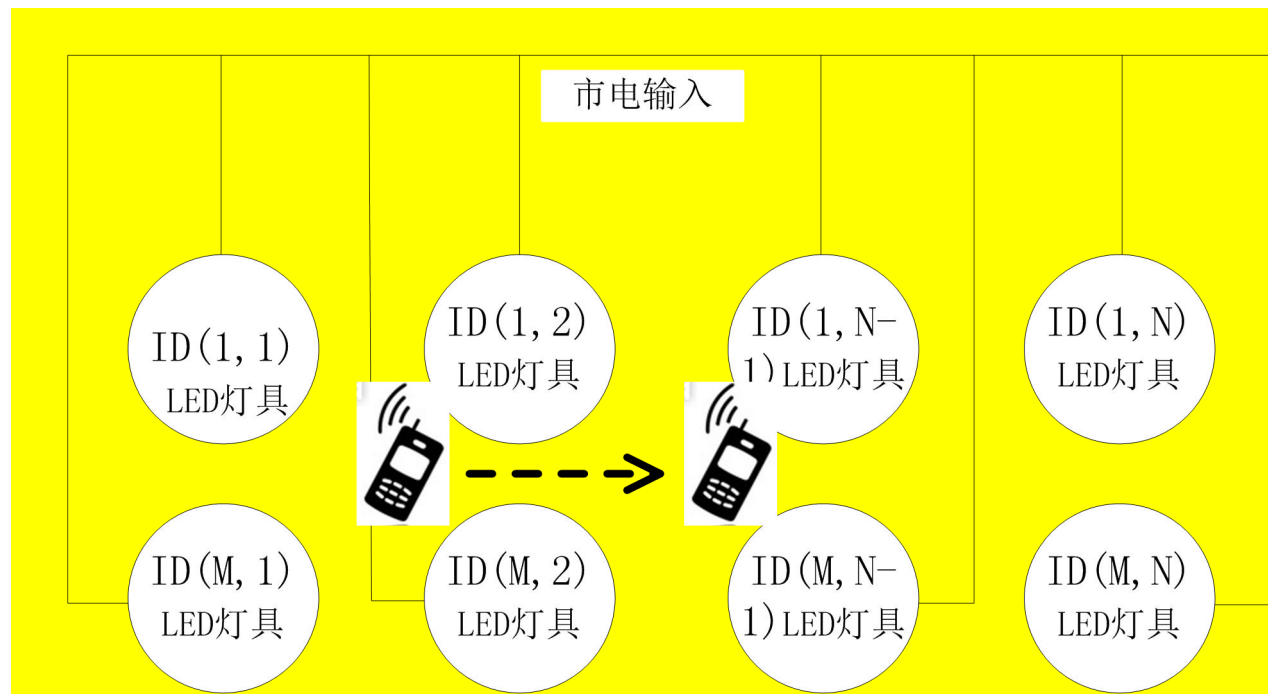
→摄像头成像

→图像识别

→提取编码得到ID

→得灯具坐标

→计算摄像头位置
实现定位

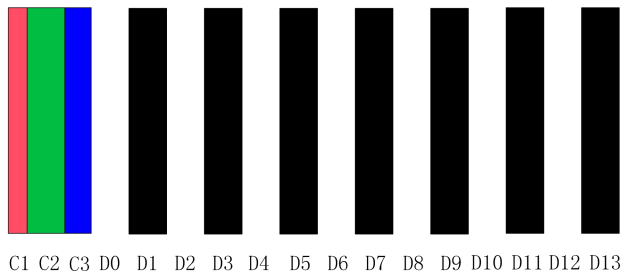


五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

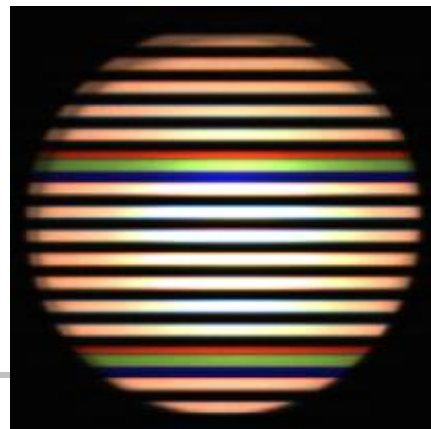
5、可见光通信编码方法

- 采用**14B**平衡编码技术：用**14**位二进制数中**0**、**1**个数平衡的**4096**个编码对应**12**位二进制，以兼顾通信与照度稳定
- 充分利用三基色**LED**的丰富颜色信息，以琥珀色、薄荷色、蓝色作为帧头标志，可增加信息量
- 基本型**4096**个ID编码，可通过扩码技术达到百万数量级

14位编码



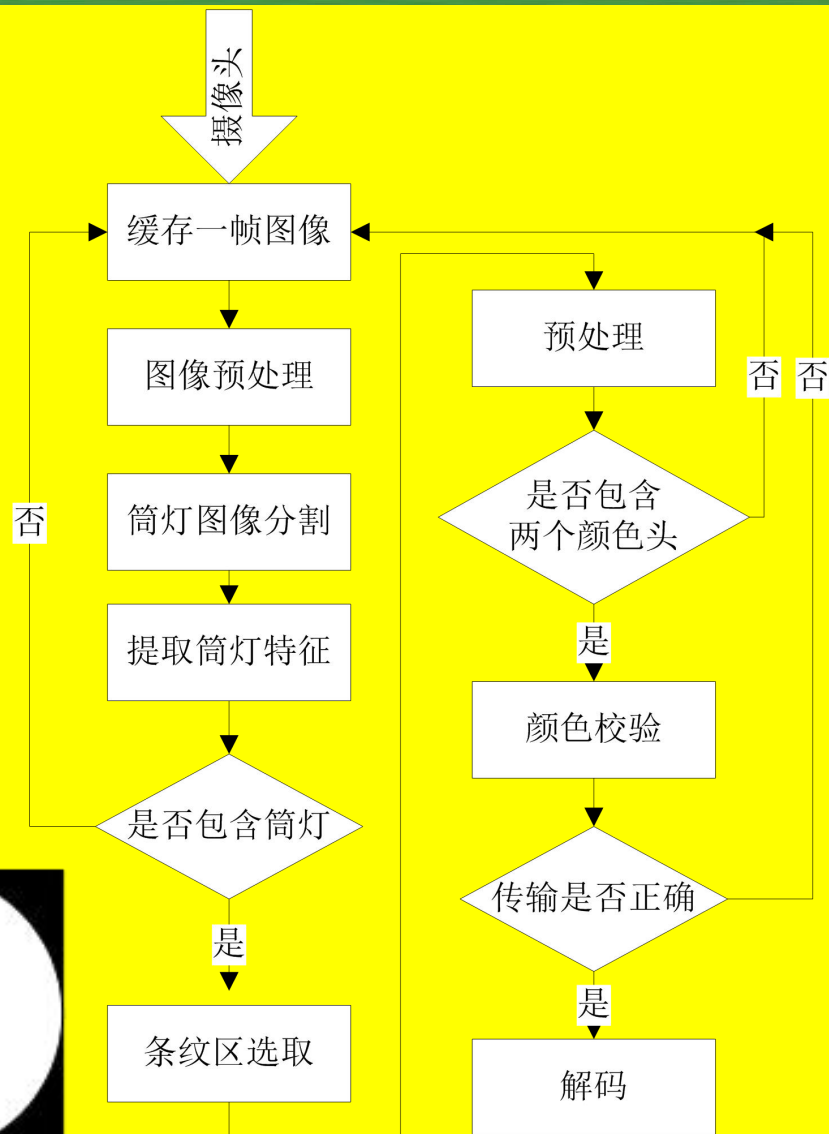
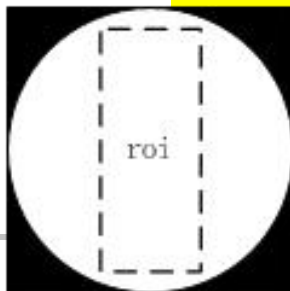
接收到的图像



五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

6、室内静态目标定位

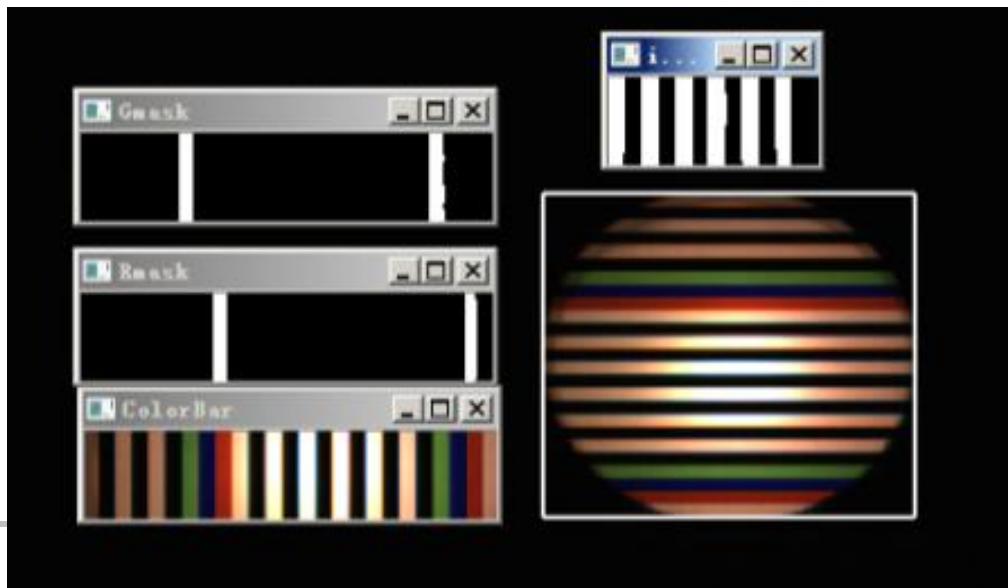
- 图像预处理：对原始图像滤波，去噪声及干扰信息
- 图像分割：将筒灯图像从整幅图像中分割出来
- 条纹区选取：从分割出的筒灯图像中选取中心矩形区域条纹作为感兴趣区域





五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

- 条纹预处理：识别颜色条纹作为数据起始头
- 解码：两个颜色头之间为数据区→滤波及二值化→黑白数据条纹→01码→灯具ID→灯具坐标
- 根据灯具坐标，基于单摄像头普通相机成像原理，计算摄像头位置坐标，实现目标定位





五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

- 实验验证:

摄像头7个位置，坐标XYZ定位值与实测值平均误差3cm以内，
可满足大多数室内导航任务



手机拍摄普通白光LED灯具



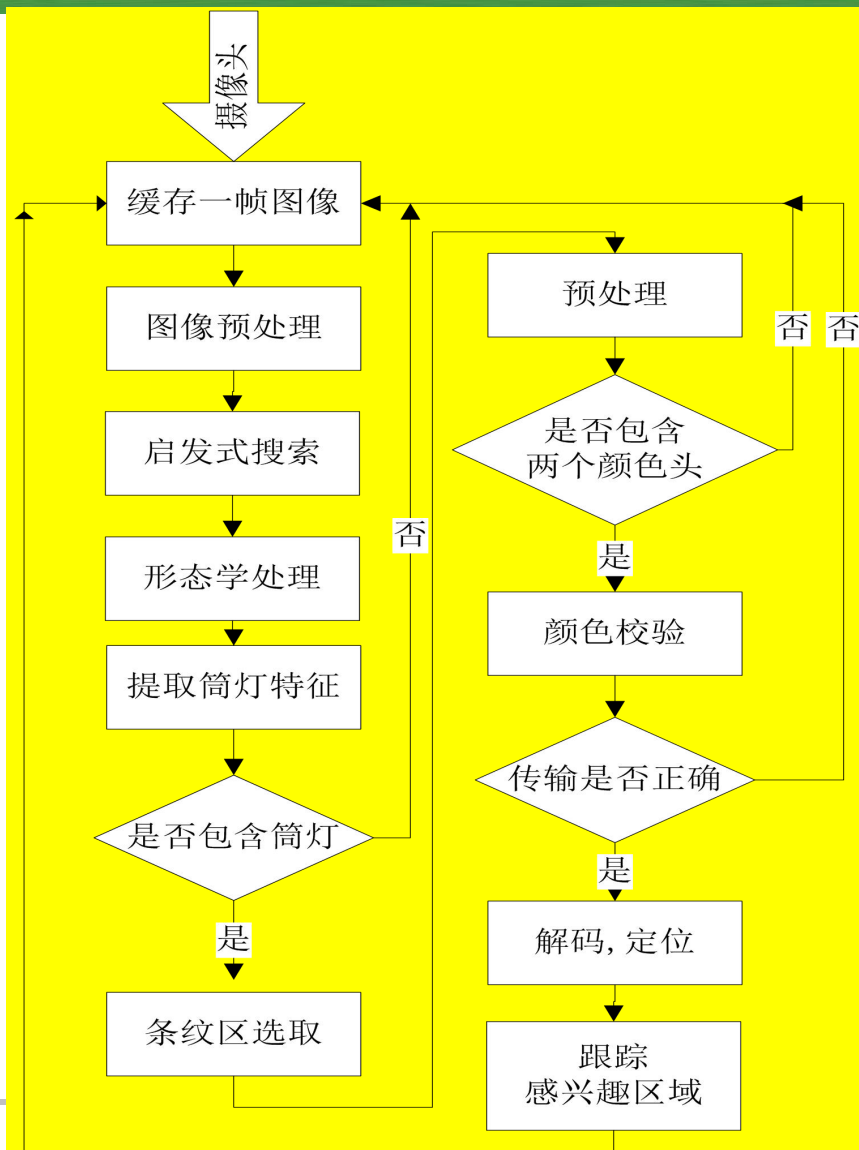
五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

7、室内移动目标定位

- 基本流程:

实时拍摄并处理每幅图像
→提取编码信息
→计算移动目标实时位置

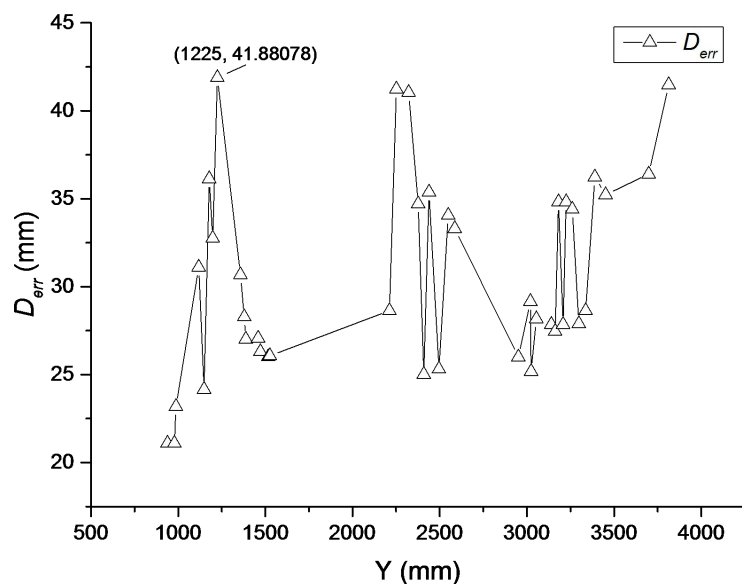
- 难点: 针对连续图像进行完整搜索, 计算量大, 实时性差, 难以跟踪快速移动目标
- 采用改进的粒子滤波跟踪算法, 以颜色头作为特征引入启发式搜索策略



五、三基色LED的应用拓展—室内光通信定位

- 实验验证：人拿手机/摄像头移动，测试40个点

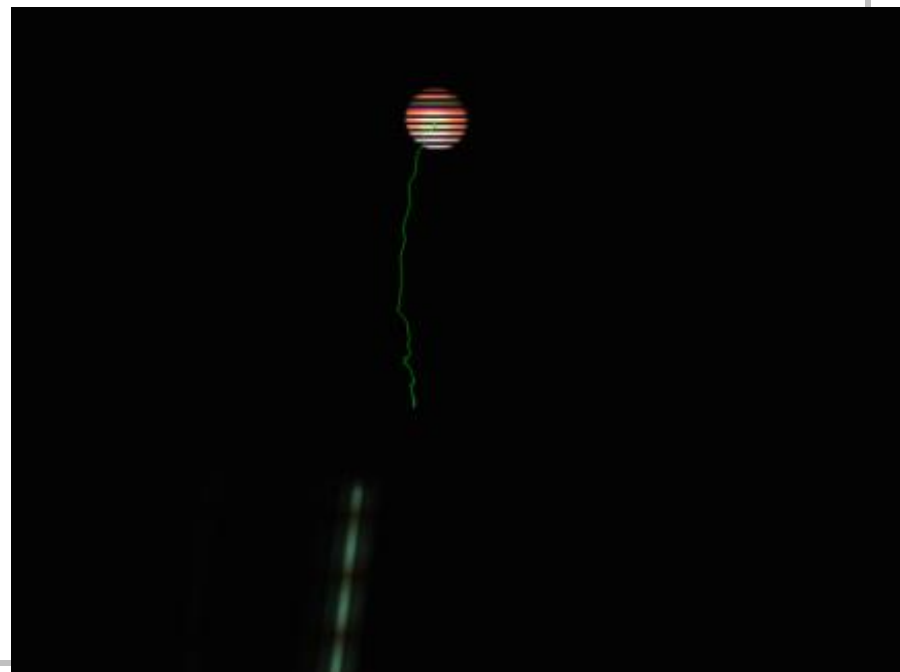
精度：40个点定位误差最大42mm



实时性：三种跟踪算法比较

跟踪算法	帧率（帧/秒）	成功率
粒子滤波	6	79%
Mean-shift	7	64%
改进粒子滤波	7	100%

实际跟踪效果





六、结论与展望

结论：

- 多基色混光灯具可实现高性能白光照明与室内光通信定位的集成
- 混光优化技术可混光得到期望的白光色温，同时可使灯具光输出最大、出光率更高
- 高效驱动与控制技术可实现白光色温、亮度及各基色的独立调控
- **LED**可见光通信技术可实现高精度室内静态目标定位与移动目标跟踪，为基于位置的服务提供了新的技术路径





六、结论与展望

展望：

- **LED**灯具发展趋于两极分化：
 - 一类回归“灯与照明”，简单、实用、低成本、一体化；
 - 一类进阶“智能终端”，多功能、智能化、信息化
- 充分发挥**LED**特点的创新应用领域、特种照明领域具有很大发展潜力和市场机会





谢谢各位！

