

# 基于雷达定位区域识别的智能照明节能方法

欧海燕<sup>1,2</sup>, 范祯桂<sup>1</sup>, 潘鑫<sup>1</sup>

(1.福建工程学院 信息科学与工程学院,福建 福州 350118;

2.福建工程学院 电子信息与电气技术国家级实验教学示范中心,福建 福州 350118)

**摘要:** 针对智能照明控制系统节能效果不佳、误判率高、反应时间长的问题,提出一种区域控制的智能照明系统方法。该方法根据照度公式构建照明系统区域控制模型,采用雷达技术精确定位人员的实时位置,智能开启和关闭对应区域的 LED 照明灯。实验结果表明,该系统定位误差在 3 cm 以内,LED 照明误判率低于 1%,电量平均减少 23.8%,反应时间短,可以较好实现绿色节能。

**关键词:** 节约能源;智能照明;区域控制;雷达定位

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2020)04-0365-05

## Energy saving method of intelligent lighting based on radar location and region recognition

OU Haiyan<sup>1,2</sup>, FAN Zhengui<sup>1</sup>, PAN Xin<sup>1</sup>

(1.School of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2.National Experimental Teaching Demonstration Center for Electronic Information and Electrical Technology, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low energy saving effect, high misjudgment rate and long response time of intelligent lighting control system, a method of intelligent lighting system with regional control was proposed. This method constructs a regional control model of the lighting system according to the illuminance formula, uses the radar technology to accurately locate the real-time position of the personnel, and intelligently turns on or off the LED lights in the corresponding region. Experimental results show that the location error of the system is within 3cm, the misjudgment rate of LED lighting is less than 1%, the average power consumption is reduced by 23.8%, the response time is short, and green energy-saving can be well achieved.

**Keywords:** energy saving; intelligent lighting; regional control; radar localization

截至 2019 年,我国城市居民用电量占 14.2%<sup>[1-2]</sup>,其中照明用电量占全国用电量 12%<sup>[3]</sup>。室内照明灯打开的数量和使用时长主要由人工控制,如果管理不当,极易造成用电量的浪费。所以,研究智能 LED 照明控制系统实现绿色节能具有重要社会效益。

刘云飞等<sup>[4]</sup>提出利用热释电红外传感器有效识别人员情况,实现对室内各组灯光的智能控制,然而热释电红外传感器容易受温度影响,导致

出现误判现象。邹优敏等<sup>[5]</sup>结合 RSSI 测距技术、Wi-Fi 通信技术和自动化控制系统,设计人员位置的室内智慧照明系统,但控制方式复杂。孙彦民<sup>[6]</sup>提出雷达微波感应模块在 T8 LED 灯管中的应用证实雷达感应优于其他智能感应系统,而公文礼<sup>[7]</sup>研制雷达微波感应式隔爆兼本安型 LED 巷道灯,根据行人和移动设备进行自动智能切换,但是未应用到室内环境。

本研究在上述文献基础上提出一种区域控制

的智能照明系统方法,对人员在不同运动状态轨迹下实时智能控制,能够提高室内照明能效,降低误判率,有效控制时长,更好地达到了节能绿化效果。

## 1 构建单个照明区域划分模型

单个 LED 照明区域受照明参数影响,为了实现智能照明,需要构建单个照明区域划分模型,如图 1 所示。先将区域划分为开启区和关闭区,由于考虑到人的移动及系统反应延迟,当人从开启区进入关闭区或关闭区进入开启区时,因延迟可能出现延时关闭或延时开启现象。在开启区和关闭区中设置两缓冲区,分别为开启缓冲区和关闭缓冲区。当人体由关闭区进入开启区时,到达开启缓冲区启动照明系统;由开启区进入关闭区时,到达关闭缓冲区就关闭照明系统。

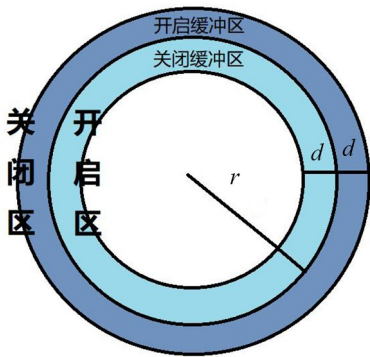


图 1 单个照明区域划分模型图

Fig.1 Model of individual lighting area

### (1) 计算半径 $r$

本系统以教室、实验室作为测试环境,长 8 m,宽 8 m,照明标准 300 lx,照明灯离地面  $h = 3$  m,工作面高 0.75 m,常见 40 W 双 LED 灯管(光效为 100 lm/W)作为照明装置。

根据平均照度公式算出灯具数量,  $E_{av}$  为工作面上的平均照度,单位 lx;  $\varphi$  为光源光通量,单位 lm;  $N$  为光源数量,  $U$  为利用系数,  $A$  为工作面面积,单位为  $m^2$ ;  $K$  为灯具的维护系统,一般取 0.8,公式如下:

$$E_{av} = \frac{N\varphi UK}{A} \quad (1)$$

$$\varphi = \eta * E \quad (2)$$

式中,  $\eta$  为光效,单位为 lm/W,  $E$  为光源的功率,单位为 W。

室形指数 RI 表示 2 倍的房间或场所面积与该房间或场所水平面周长与灯具安装高度与工作面高度的差之商,公式如下:

$$RI = \frac{l + w}{(l + w)h_r} \quad (3)$$

式中,  $l$  为长度,  $w$  为宽度,  $h_r$  为照明灯到工作面的高度,3 个参数单位都为 m。

将已知条件代入,得到  $RI = 1.78$ 。

根据利用系数表插入法求出  $U = 0.67$ 。

依次带入上述公式得出  $N$  值为

$$N = 8.96 \quad (4)$$

按照 9 盏双管灯均匀分布,已知双管日光灯长 1.20 m,宽 0.25 m,日光灯相邻中心点作为半径约为 2.67 m,双管日光灯长边缘到中心距离小于宽边缘到中心距离,为了不使两盏照明灯在同一个范围内,半径最大取 2.07 m。

根据 9 盏灯均匀排布以及人员与某区域圆心最小距离来智能开启该区域对应的照明灯,除去重叠部分,照明面积为内接正方形,根据光通量和面积公式计算可得照度值约为 467 lx,大于 300 lx,所以半径最大取 2.07 m,分区划分满足照明要求。

### (2) 缓冲区宽度 $d$

由于系统具有延迟,为避免延迟引起的误差,对单个区域再划分缓冲区。

设人的行走速度为  $v = 1.5$  m/s,系统延迟时间为  $t$  (s),则环形缓冲区的宽度为:

$$d = vt \quad (5)$$

对系统延迟时间进行 1 000 次重复测量,得到如图 2(a) 所示数据图,利用直方图对其进行统计处理,得到结果如图 2(b) 所示。

从图 2 看出,系统延迟时间服从高斯分布:

$$P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

其中:

$$\mu = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} t_i \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (t_i - \mu)^2} \quad (8)$$

可得:

$$P(t_i \leq \mu + \sigma) = F(\mu + \sigma) = 0.84 \quad (9)$$

其中,

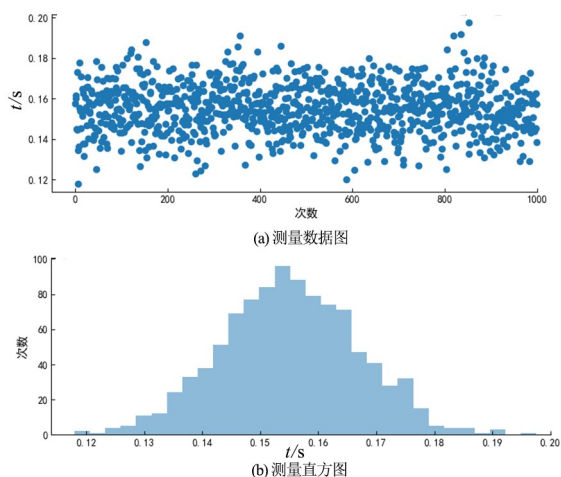


图2 延迟时间测量图

Fig.2 Measurement chart of delay time

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\xi-\mu)^2}{2\sigma^2}} d\xi \quad (10)$$

根据上述结果可知,系统延迟时间小于 $(\mu + \sigma)$ 为高概率事件,覆盖大多数情况,此时 $t \approx 0.17$  s。

所以缓冲区的宽度为:

$$d \approx 0.25 \text{ m}$$

## 2 雷达定位技术

于测试室垂直两面墙正中位置分别放置2个YDLIDAR X4型雷达,它采用红外线785 nm光源,具有频率3 KHz,功率1.5 W,测距10 m,精度小于1%,扫描时间0.33 ms,满足Class I安全级别的特性,电机带动雷达测量测试室的数据信息。将采集到的数据送至处理器,经处理器分析计算,确定具体位置雷达1在纵轴中间,高1.3 m处,雷达2在横轴中间,高1.3 m处。

### 2.1 采样原理

雷达使用了三角测距来完成扫描。先发送激光信号,当激光遇到一个物体时会反弹,并被雷达上的传感器探测到,内置处理器用于计算物体与雷达之间的距离以及当前角度。通过一个电机转动,带动测距模块旋转扫描,实现360°的环境扫描与测距。

YDLIDAR X4的发射器功率较低,使用PWM方式驱动,可以迅速进行发射功能。该雷达扫描时功率为Class I级别,确保对生物和物品的安全。

### 2.2 数据处理

通过扫描雷达返回数据进行处理后得到以雷达为原点的极坐标数据,设两雷达采样点的数据分别为:

$$\begin{cases} \text{Radar1: (Distance}_i & \text{Angle}_i) \\ \text{Radar2: (Distance}_j & \text{Angle}_j) \end{cases} \quad (11)$$

通过极坐标与直角坐标系的关系进行换算后得到:

$$\begin{cases} x_i = \text{Distance}_i * \cos(\text{Angle}_i) \\ y_i = \text{Distance}_i * \sin(\text{Angle}_i) \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} x_j = \text{Distance}_j * \cos(\text{Angle}_j) \\ y_j = \text{Distance}_j * \sin(\text{Angle}_j) \end{cases} \quad (13)$$

根据雷达对应位置,设两雷达距离为 $r$ ,则雷达2所得到的采样点换算至雷达1坐标系内为:

$$\begin{cases} x_i = x_j + \frac{\sqrt{2}}{2}r \\ y_i = y_j + \frac{\sqrt{2}}{2}r \end{cases} \quad (14)$$

最终得到所有采样点的综合数据 $(x_i, y_i)$ 。

## 3 实验论证

### 3.1 定位测试

一般桌面高0.75 m,电脑高度0.4 m,将雷达放置于1.3 m处可以有效避免物体遮挡造成误判的问题。

#### (1) 人员测试

基于坐标做了2组实验,第1组是无人时采样点如图3(a),第2组是有人时采样点如图3(b),此时房间内进入10人,将两图数据比较处理后,可得出 $a - j$ 所对应坐标分别为(723, 7515)、(2112, 6823)、(4401, 5310)、(6530, 5968)、(1231, 4760)、(3524, 3180)、(5893, 3914)、(1287, 1089)、(2560, 711)、(4893, 836),单位为mm。

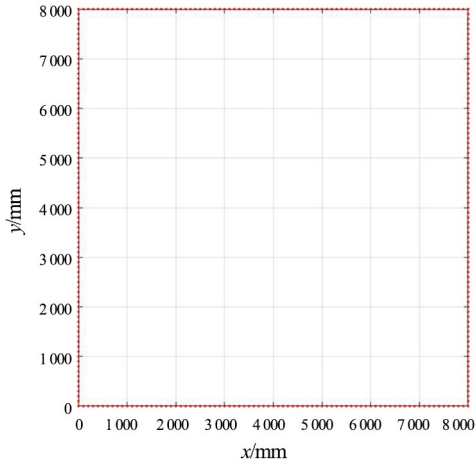
#### (2) 精度测试

雷达定位测试结果如表1所示,从1表中可以看出定位误差在 $\pm 3$  cm以内,结果表明该系统有较高定位精度。

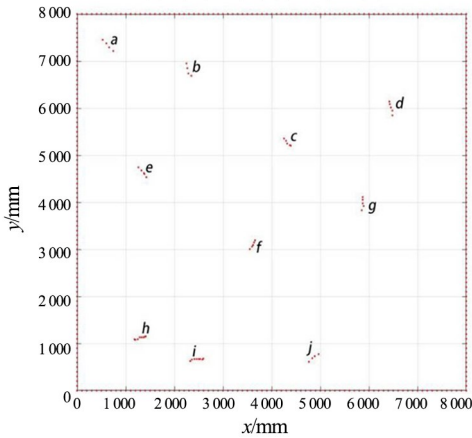
### 3.2 区域划分

对房间内区域进行3种划分,如图4所示。模型一半径约为1.33 m,模型二半径约为1.89 m,模型三半径约为2.07 m。对于模型一划分区域简单,

容易判断哪盏灯开。而模型二和模型三存在重叠部分,当人停留在区域重叠部分时,分 2 种情况:(1)当人员与某区域圆心距离最短,智能开启该区域对应的照明灯;(2)当人员与重叠区域圆心距离相等时,同时开启对应几盏照明灯,光照强度取平均值。模型二相对模型三更容易判断哪盏灯开。



(a) 无人时采样点示意图



(b) 有人时采样点示意图

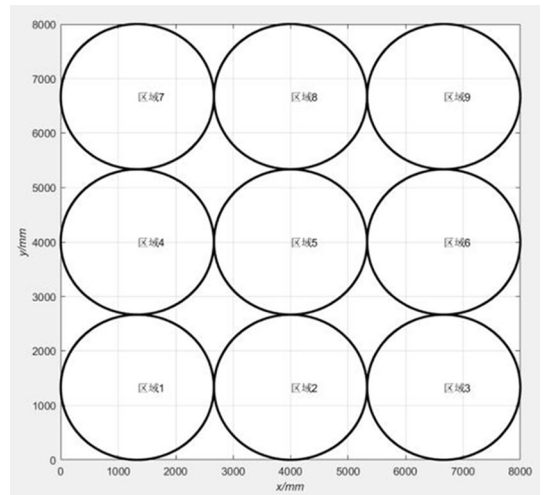
图 3 采样点示意图

Fig.3 Sampling points

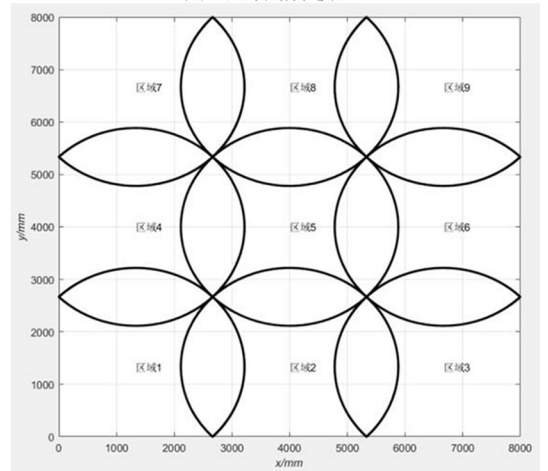
表 1 定位结果及误差分析

Tab.1 Location results and error analysis

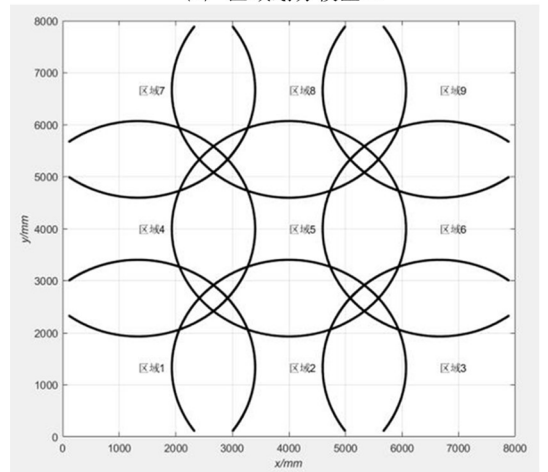
实际目标坐标 ( $x, y$ )	定位结果 ( $x, y$ )	误差 ( $\Delta x, \Delta y$ )
(2 180, 3 160)	(2 189, 3 176)	(9, 16)
(3 679, 4 325)	(3 677, 4 312)	(2, 13)
(7 653, 6 334)	(7 643, 6 320)	(10, 14)
(1 036, 4 360)	(1 035, 4 355)	(1, 5)
(962, 369)	(932, 360)	(30, 9)
(4 023, 4 677)	(4 022, 4 674)	(1, 3)



(a) 区域划分模型一



(b) 区域划分模型二



(c) 区域划分模型三

图 4 实验区域划分示意图

Fig.4 Division of experimental areas

现对这 3 种情况进行系统误判率测试,每种情况进行 1 000 次测试。测试情况如图 5。

从误判率和划分区域复杂程度综合判断,采

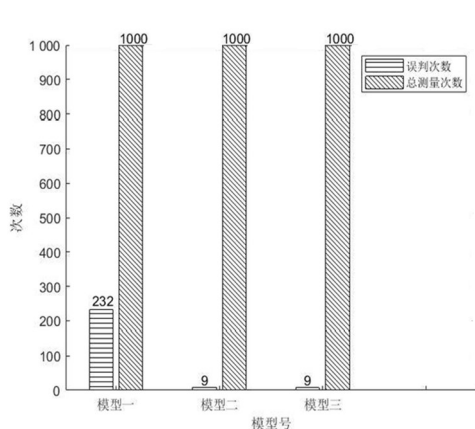


图5 测试结果

Fig.5 Test results

用模型二较为合适,该模型测试误判率为 0.9%,且容易判断哪盏灯开或关。

### 3.3 节能分析

系统灯亮时间为  $t_s$ ,开启区时间为  $t_1$ ,软件设置延时系统时间为  $t_2$ ,人员滞留时间为  $t_3$ ,误差引起时间为  $t_4$ ,公式如下:

$$t_s = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (15)$$

### 参考文献:

- [1] 刘炜. 住宅智能化人工照明光环境[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2017:3-4.
- [2] 国家能源局发布 2019 年全社会用电量[EB/OL]. [2020-01-20]. [http://www.nea.gov.cn/2020-01/20/c\\_138720877.html](http://www.nea.gov.cn/2020-01/20/c_138720877.html).
- [3] 中国照明学会,北京华通人商用信息有限公司. 2019 中国照明市场调查分析报告[R]. 北京: 中国市场出版社,2020.
- [4] 刘云飞,左臣瑞,毕鑫. 基于人体定位的智能灯光控制系统[J]. 电子质量, 2017(3): 60-62.
- [5] 邹优敏,孙玮,郭爱煌等. 基于人员位置的室内智慧照明系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2018(7): 157-160, 164.
- [6] 孙彦民. 雷达微波感应模块在 T8\_LED 灯管中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2016(13): 134.
- [7] 公文礼. 雷达微波感应式隔爆兼本安型 LED 巷道灯的研制与应用[J]. 电气防爆, 2017(1): 5-8.

(责任编辑:方素华)

$$t_1 = \frac{2(r+d)}{v} \quad (16)$$

由于误差引起时间很小,不予考虑,而人员滞留时间存在不确定性,也不予考虑,软件设置延时时时间为 20 s,人员按照 1.5 m/s 平均速度经过划分区域灯亮的平均时间约为 22.86 s,常用声控灯开启时间一般为 30 s,节省照明电量为 23.8%。

采用雷达工作功率为 1.5 W,相对比照明灯 40 W 相差 25.7 倍,即使工作 24 h 也不会达到照明灯工作 1 h 浪费电能,且对于照明灯数越多的环境效果就更为显著。

## 4 结论

提出一种区域控制的智能照明系统方法的研究,该方法通过 2 个雷达全方位扫描,经过定位、区域比较方式,实现灯光的智能控制,不仅能减少反应时间、误判率高的现象,还能达到节能绿化效果。对于那些管理方式不当、不方便行动或深夜无灯的人员来说,该系统就很实用。经过试验对比,能减少 23.8% 的电量。该系统可广泛应用于教室、实验室、科研、独居、楼道、走廊等场所。