

基于最小二乘法的光污染治理研究

韩钰婷, 王颖*

(辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114000)

摘要: 虽然城市化带来了许多便利, 但也给人们带来了许多问题, 例如, 污染, 其中光污染^[1]就是一个非常严重且容易被忽视的问题。近年来, 光污染问题变得越来越严重。解决问题要建立光污染的度量标准基础之上, 并因此提出减少光污染的干预策略。一个明亮的城市通常代表着城市的经济发展和良好的基础设施, 但超额的亮度可能会浪费电力, 对人体造成伤害, 甚至影响生物多样性。

关键词: 光污染; 预测模型; 辐射度; 最小二乘法

DOI:10.16184/j.cnki.comprg.2024.03.046

1 模型准备

1.1 假设和理由

假设1: 忽略气候的影响。

理由: 假设忽略气候变化, 阴天和雨天的阳光照射强度低于晴天, 但阳光照射不是造成光污染的主要因素, 对实验结果的影响较小, 因此可以忽略。

假设2: 数据不受人为因素影响。

理由: 人口的突然增加或减少会影响城市的用光量, 例如, 外来人口访问该城市, 无法得到准确的数据, 因此可以忽略人为因素的影响。

假设3: 假设研究数据准确。

理由: 假设面积、方位角数据和探测器与光源之间的距离的测量数据没有显示出显著的测量偏差, 并认为它们是错误的, 因此可以在此基础上建立一个更合理的模型。

假设4: 人类发展水平与光污染呈正相关。

理由: 人类发展水平的高值往往意味着城市的发达, 在许多样本中, 发达城市的辐射水平非常高, 因此认为人类发展水平高意味着光污染更严重。

1.2 制定衡量标准

需要针对不同地区的不同类型的光污染制定一个衡量标准, 并基于此研究出不同的干预策略, 最终确定最有效的策略。因此工作主要包括以下内容。

(1) 通过所学的物理知识分析3种主要的光污染现象(光侵入、过度照明和光混乱)来建立模型衡量标准^[2]。

(2) 基于光污染测量的标准研究出有效的干预策略。

(3) 开发基于最小二乘法的预测模型, 预测出策略实施对光污染的影响。

使用的关键数学符号列于表1中。

表1 使用的关键数学符号

符号	描述	单位
E	波长处的光谱辐射亮度	W/m^2
λ	波长	nm
A	面积	m^2
L	辐射亮度: 单位投影面积、单位立体角上的辐射通量	cd/m^2
θ	观测角度	rad
Ω	方位角	rad

1.3 数据收集

使用的数据主要包括地理位置、辐射度及不同辐射对人类和动物的影响。数据源整理如表2所示。

表2 数据源整理

数据库名称	数据库网站数据	类型
光污染地图	https://www.lightpollutionmap.info/	地理
EARTHDATA	https://disc.gsfc.nasa.gov/	地理
CNKI	https://www.cnki.net/	学术论文
UNPD	https://population.un.org/wpp/	人口
UNDP	https://hdr.undp.org/data-center	经济

1.4 数据选择

选择各种地区作为模型的样本点, 包括: 受保护的土地位置、农村社区、郊区社区和城市社区, 从数据的众多属性中选择了每个地方的人口密度、人类发展指数(HDI)和辐射度进行建模, 试图分析辐射度与两者之间的关系。

因为夜间光的辐射度由各种因素决定, 例如, 方位、观察角度、波长、面积和气候, 这些多种因素都会影响其辐射度。因此, 更准确使用与辐射度和光污染相关的模型来解决这个问题, 这样能更好地考虑到影响因素。

作者简介: 韩钰婷(2002—), 在读本科, 研究方向为数据科学与大数据技术; 王颖(1983—), 通信作者, 硕士, 副教授, 研究方向为语言学及应用语言学。



根据相关信息，辐射亮度如公式（1）所示：

$$E(\lambda) = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA} \quad (1)$$

由于辐亮度 L 不受气候影响，因此单位面积的辐射亮度如公式（2）所示：

$$L = \frac{d^2\Phi(\lambda)}{dA \cos \theta d\Omega} \quad (2)$$

辐射计算示意图如图1所示。

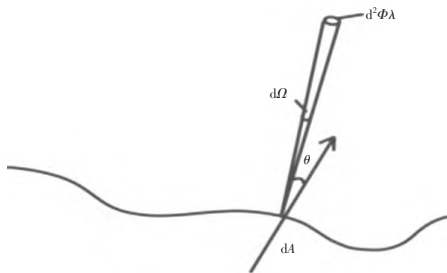


图1 辐射计算示意图

2 辐射预测模型

为了预测实施相关措施后对辐射度的影响，建立了一个辐射度的预测模型，以辐射度为因变量，以人口密度和人类发展指数为自变量，预测值和真实值的拟合图像如图2所示，分析步骤如下。

（1）通过分析 F 值，检验是否能显著拒绝原假设，即整体回归系数为0 ($P < 0.05$)。若显著，则表明它们之间存在线性关系，需进一步分析线性关系的强度。

（2）通过 R^2 值来分析模型拟合度。

（3）分析 X 的显著性。若显示显著性 ($P < 0.05$)，则用于探讨 X 对 Y 的影响关系。

（4）通过回归系数 B 值的比较分析 X 对 Y 的影响程度。

（5）确定所得模型的方程式。

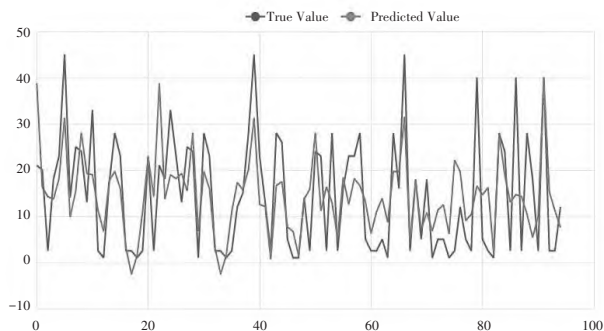


图2 预测值和真实值的拟合图像

3 敏感性分析

为了实现对辐射度的预测，开发了一个辐射度的线性回归模型，使用的数据是相关部门的统计数据。统计

过程中可能存在误差。因此，需要考虑数据不准确性对模型解决方案的影响，即逻辑权重的敏感性分析。对于 X_1 、 X_2 对应权重的敏感性，可按定义记为 $S(X_1, W_1)$ 、 $S(X_2, W_2)$ ，如公式（3）所示：

$$\begin{cases} S(X_1, W_1) \\ S(X_2, W_2) \end{cases} = \begin{cases} \frac{dX_1}{dW_1} \cdot \frac{X_1}{W_1} \\ \frac{dX_2}{dW_2} \cdot \frac{X_2}{W_2} \end{cases} = \begin{cases} 0.082 \\ 0.053 \end{cases} \quad (3)$$

为确保得到可靠的结果，通过计算预测值和实际值之间的均方误差和相关系数来验证预测准确性。总和计算公式如公式（4），公式（5）所示：

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

通过上述方程计算得到均方误差 $MSE=5.73 \times 10^{-5}$ 和相关系数 $r=99.85\%$ 。因此可以看出，预测值与真实值之间的误差小于0.5%，这意味着预测结果基本符合实际情况。

4 结论

根据模型计算的结果，可以得出一个广泛适用的衡量标准，辐射度与光污染级别的对应关系如表3所示。

表3 辐射度与光污染级别的对应关系

辐射亮度 $L/\text{cd}/\text{m}^2$	对人的影响程度
$L < 5$	无光污染
$5 < L < 15$	可接受的光污染
$15 \leq L < 40$	适度的光污染
$L \geq 40$	严重的光污染

基于这个模型，将衡量标准应用到4个地区，获得了表4中的结果。

表4 2014~2016年4个地区的辐射亮度

年份	受保护的土地区	农村地区	郊区	城市地区
2014	0.73	0.79	19.6	43.5
2015	0.67	0.74	18.8	43.3
2016	0.66	0.71	18.2	42.7
平均值	0.69	0.75	18.9	43.2

根据模型，制定了以下3种干预策略来解决光污染问题。

（1）使用减光路灯。分别在采用减光路灯和传统路灯下测量光强度，发现减光路灯下的光强度小于传统路灯下的光强度。通过控制照明工具的遮光角度，防止光线外逸和眩光^[3]，减少光污染。

(2) 减少LED广告屏幕的使用面积和亮度。研究发现城市使用的LED广告牌面积和亮度超出标准,这是光污染的主要原因之一,减少亮度和面积可以有效干预光污染。

(3) 用吸光材料替代玻璃建筑。通过减少光线反射,可以有效减少城市的光污染。减光路灯的分布曲线如图3所示。

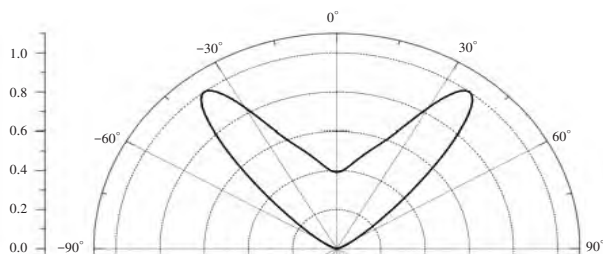


图3 减光路灯的分布曲线

选择了郊区社区和城市社区作为调查的对象。经过实地工作和数据审查后发现,在郊区路灯是辐射的主要来源。

有许多因素影响光源,其中两个物理量值得关注——发光通量和发光强度。发光通量以流明为单位,代表光源发出的总光量。通过在特定方向上将发光通量除以立体角得到发光强度。光污染是指光源向天空或不应照射的其他地方发出的光,导致不必要的浪费和污染。通过这个公式知道,当立体角更大时,光强度会更弱。光源的立体角过大不仅会导致污染和浪费,还会影响有效的光强度。

合理的路灯分布曲线应该足够平滑,不让人感到明暗不一。在距离路灯较远的地方,路灯应该散发较强的光,使不同位置感受到的光强度基本保持一致。为了防止眩光和避免光污染,光强度应在 80° 以上的 γ 角度受到限制^[4]。有了这样一个标准,找到了减光路灯,如图4所示。减光路灯对于 80° 以上的 γ 角度的光强度有明显限制,显著减少了光污染和眩光问题。不同路灯效果的比较,如图5所示。



图4 减光路灯



(a) 普通路灯



(b) 减光路灯

图5 不同路灯效果的比较

在城市中,LED屏幕是主要的辐射和光污染源,例如,某市中心的LED屏幕可以达到数百平方米大小,在夜晚发出强烈的光来展示商业广告,这极大地浪费了宝贵的能源,也造成了大量的光污染。当广告颜色过亮或颜色变化过于频繁时,也容易使癫痫患者出现头晕、眼睛或肌肉抽搐、意识不清、迷失方向等症状,甚至危及生命。因此,在城市社区中,选择减少LED屏的尺寸或数量以达到减少光污染的效果。

假设路灯的类型与人口有关。随着人口增多,人们需要使用更多的路灯照亮道路,但是减光类型的路灯会使路灯得到更充分的利用,在相同数量的人口下会减少路灯的使用^[5]。

根据预测模型,如果该地的所有路灯都被减光路灯取代,当地的辐射度将从18.9降至16.3,这是一个显著的效果。对于城市社区^[6],假设更高的人类发展指数(HDI)代表更多的LED屏幕,对预测模型中的HDI进行微调以减少LED屏幕的数量。通过微调HDI,假设可以减少LED屏幕的数量,而HDI仅会降低0.07,某市中的辐射度将从43.2降至38.1,对于抵制光污染有很好的效果^[7]。

5 模型评估和进一步讨论

5.1 优势

(1) 模型的敏感性分析证实了模型的准确性。

(2) 使用HDI和人口密度进行辐射预测模型的建模,适应度足够良好,能更准确地预测该地区的辐射。

(3) 根据模型制定的测量标准可适用于不同地区,(下转第23页)



以二进制数据的方式保存至数据库，发送相应响应信息回到前端。

5.10 我的

该板块主要实现的是个人信息的编辑和查询。用户会在首次注册登录后获得一个默认头像，可通过该界面更换用户名和头像，用户可以编辑 20 字以内的个性签名，并且能够查看自己的创作、藏品、钱包、交易记录等内容。“创作”模块将会展示用户创作的作品，显示作品的名字、创作时间、是否发布等。“藏品”模块用作展示用户拥有的数字藏品及其信息（不包括创作作品）。“钱包”模块用于展示用户在本平台的余额。“交

（上接第 13 页）

具有广泛的应用范围。

5.2 缺点

（1）全球光污染缺乏非常完整和准确的数据，可能导致制定的标准出现错误。

（2）模型忽略了一些外部因素的干扰，在极端情况下可能会导致数据不准确。

5.3 进一步讨论

模型中的自变量太少，而真实情况可能更为复杂。可以考虑添加建筑密度等因素来丰富模型，使其能更准确地预测辐射情况。

参考文献

- [1] 冯凯, 郝洛斯, 曾坤. 探索城市照明光污染的演变特征——VIIRS 图像分析[J]. 照明工程杂志, 2022, 33(6): 1-10.
- [2] 庄晓斌, 林嘉光, 陈玉生. LED 显示屏区域分析及其与附近居民的距离限制[J]. 光源与照明, 2022 (S1): 58-60.

（上接第 16 页）

能，并给出部分设计的关键代码。

参考文献

- [1] 苏学伟. 高中信息技术自适应学业水平考试系统的开发与应用[D]. 济南: 山东师范大学, 2020.
- [2] 溥江. C 语言学习自适应测试系统的应用研究[D]. 昆明: 云南大学, 2017.

易记录”模块用于展示交易的数字藏品名称、交易时间、交易金额等。作为演示平台，不会产生任何与金钱相关的交易，与交易相关的模块仅作为参考。

6 结语

目前，数字藏品相关的概念及产品在争辩和议论中不断发展，相关政策也在不断完善，国家正大力推动数字经济的发展，文化数字化正成为保护文化和传播文化的重要途径之一。所介绍的演示平台利用数字藏品对特色文化宣传进行了初步的探索和实践。

- [3] 段玉良, 沈传利, 滕兆娣, 等. LED 与智慧合杆背景下的道路照明设计[J]. 照明工程学报, 2023, 34(3): 15-23.
- [4] 罗臻擎, 苏航, 王卓力, 等. 城市照明规划与夜间光环境中动态光污染的分级分类[J]. 照明工程学报, 2022, 33(4): 193-202.
- [5] 郝宇, 张鹏, 高峰. 光污染管理政策与 LED 广告屏干预光限制标准分析[J]. 中国环境监测, 2022, 38(3): 199-206.
- [6] 秦晓, 吴勇, 黄华, 等. 深圳商业区光污染现状及防治措施研究——以东门步行街为例[J]. 中国照明, 2022(5): 39-43.
- [7] 刘田原. 光污染治理：国内实践与国外经验的双向考察[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版), 2022(1): 109-116.

- [3] 何林艳. 基于 IRT 的自适应考试系统的研究与设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2009.
- [4] 陈荣. 远程教育中计算机自适应考试系统研究[J]. 高教探索, 2016(S1): 118-119.
- [5] 张会. 基于 QT 的计算器的实现[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(32): 276-278.

