

DOI:10.13203/j.whugis20200492



文章编号:1671-8860(2021)05-0610-10

## 三维城市的玻璃幕墙光污染分析

应申<sup>1,2,3</sup> 唐茉<sup>1</sup> 张馨月<sup>1</sup> 胡振宇<sup>1</sup> 郭晗<sup>3,4</sup>

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,湖北 武汉,430079

3 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,广东 深圳,518034

4 深圳市数字城市工程研究中心,广东 深圳,518109

**摘要:**城市环境中由建筑玻璃幕墙引起的光污染给城市的道路交通安全、消防安全、居民健康带来了巨大的威胁。当前对于玻璃幕墙的光污染研究主要是针对具体建筑采用模拟或实测的方法在局部小范围内进行计算。面向城市环境,从真实街景中构建道路、玻璃幕墙立面和太阳光线之间的三维空间关系,利用基于深度学习的识别方法提取玻璃幕墙,采用眩光评价方式在汽车驾驶者的视角上建立三维城市的玻璃幕墙光污染模型。以中国广东省深圳市福田区为例,对三维城市的玻璃幕墙光污染进行定点、定路线和区域的多层次分析,实现即时即地的光污染计算、评估和路径选择,为驾驶者的行车安全、建筑物的规划管理提供参考依据。

**关键词:**城市街景;光污染模型;建筑玻璃幕墙;三维空间关系;深度学习

中图分类号:P208

文献标志码:A

随着中国城市化进程的加快,玻璃幕墙材料的使用也越来越广泛,目前,中国已经成为建筑玻璃幕墙的最大生产国和使用国,据国家统计局的资料显示,2012年中国玻璃幕墙的累计使用量占中国建筑幕墙总使用量的35.20%,占世界玻璃幕墙累计使用量的62.10%<sup>[1]</sup>。建筑玻璃幕墙在美化城市的同时,也引起了日益严重的光污染问题,玻璃幕墙产生的眩光会导致驾驶者暂时性目盲,进而造成严重的交通事故;玻璃幕墙外立面若形成凹面镜,极易引起火灾;长期处于玻璃幕墙光污染环境下的城市居民,可能产生视力和心理等问题<sup>[2]</sup>。为了防治玻璃幕墙光污染产生的危害,纽约市建筑法对玻璃幕墙的设计做出了严格的限制;日本在新建项目的建设审批过程中规定了使用玻璃幕墙的具体范围和限度;中国从国家到地方均制定了相应的政策和标准<sup>[3]</sup>,如在《玻璃幕墙光热性能》中对于需要进行玻璃幕墙反射光影响分析的情况做出了规定。

研究与控制光污染已成为国际学术界关注的焦点,国内外对建筑玻璃幕墙的光污染研究主要是通过建模的手段对光反射场景进行仿真模拟或利用光传感器对幕墙的反射光线开展实地

监测,如开发光线追踪模型模拟从香港国际贸易中心到周围建筑物的太阳反射路径<sup>[4]</sup>;通过反射材料制成的立方体对玻璃幕墙反射光的影响范围进行可视化<sup>[5]</sup>;利用彩色电荷耦合器件(charge coupled device,CCD)相机测量光环境亮度来获得建筑物的眩光测量值<sup>[6]</sup>;采用照度计和亮度计测量沈阳华润大厦的玻璃幕墙光污染影响程度<sup>[7]</sup>。现有对于玻璃幕墙光污染的研究能够较为准确地对玻璃幕墙光污染进行评估,但仍然存在不足:局限于模拟和实测的研究路线,由于环境和工作量,无法有效地对玻璃幕墙的光污染情况进行大规模的表达。

地理信息平台的街景资源丰富,且城市覆盖面广,通过街景数据和相关方法能够获取有效的关键信息<sup>[8-10]</sup>,为了扩大城市玻璃幕墙光污染的感知范围,并不仅限于对街景图像中建筑玻璃幕墙的简单统计,本文在大型城区的范围下,基于城市街景和道路属性,关联时间和地理位置,构建道路、太阳光线和玻璃幕墙立面之间的三维空间关系,采用深度学习的图像识别方法,结合反射眩光的评价方式来获得定量信息,从驾驶者的视角出发来建立三维城市下的玻璃幕墙光污染

收稿日期:2020-11-18

项目资助:国家自然科学基金(42071366);国家重点研发计划(2017YFB0503500)。

第一作者:应申,博士,教授,主要研究领域为地图学、3DGIS与三维产权、智慧城市与位置关联大数据。shy@whu.edu.cn

模型。以深圳市福田区为例开展玻璃幕墙光污染分析,揭示三维城市中城区整体和街道局部的光污染时序变化规律、光污染极值分布规律,制定光污染下的路线选择策略,为城市建筑物的规划和管理、驾驶者的出行提供帮助。

## 1 方法与模型

三维城市中,根据街景对建筑的玻璃幕墙进

行光污染分析的技术框架包括 4 个部分:街景及基础数据的处理、建筑玻璃幕墙的提取、三维空间关系的建立、玻璃幕墙的光污染计算(见图 1)。

### 1.1 街景及基础数据的处理

1)矢量路网。矢量路网是城市计算场景中常用的地理数据,本文利用高精度的矢量数据在真实的三维城市场景中建立道路环境,相关的路网属性信息包括道路名称、道路等级、道路宽度和道路方向等。

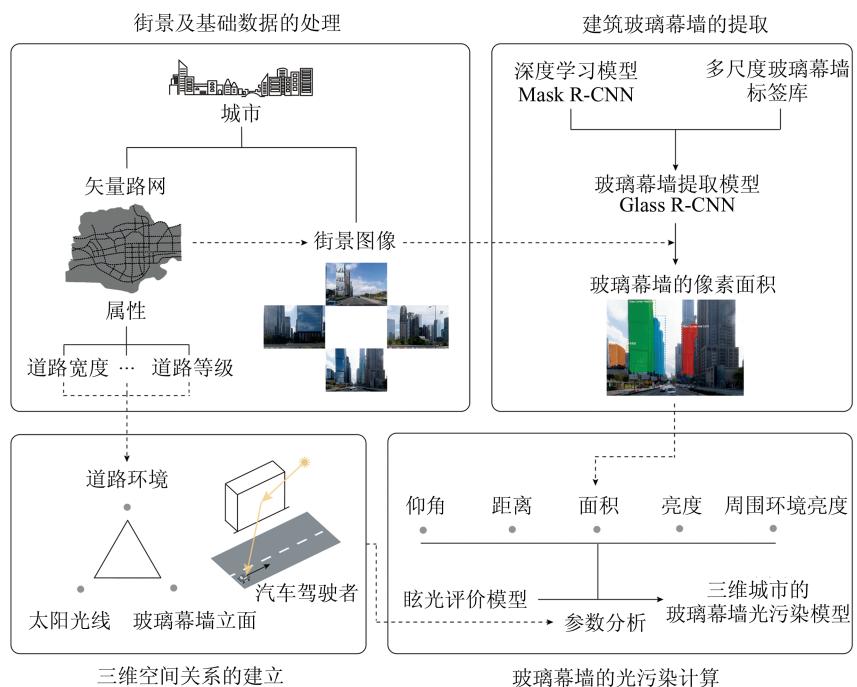


图 1 三维建筑玻璃模型的光污染分析框架

Fig.1 Framework of Sunlight Pollution with Glass Curtain Walls of 3D Building

2)街景图像。街景图像以行人和车辆的视角记录了城市的街道景象,不仅能够提供街道层级的景观,还能直观准确地反映城市的立面信息<sup>[11]</sup>。本文在城市街道环境中开展分析且面向汽车驾驶者,街景图像中的关注对象为道路两侧的建筑物和玻璃幕墙,以路网上的研究点为中心获取多方向的街景视野,当视场角为 90°、俯仰角为 0°时,街景图像既能够保证足够的图像内容,又能使近处对象的形变程度较小。图 2 为某一地点的街景视野,来源于谷歌地图。

### 1.2 建筑玻璃幕墙的提取

建筑玻璃幕墙形状规则,在图像中表现出特殊的颜色和纹理,结合图像视觉基础及玻璃幕墙的目标特征,采用深度学习的方法对玻璃幕墙对象进行迁移训练<sup>[12]</sup>是当前进行玻璃幕墙提取的有效方式。

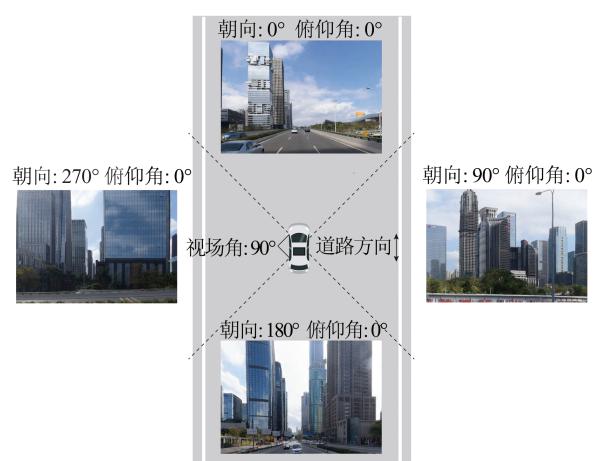


图 2 不同方向的街景视野

Fig.2 Street Views with Different Directions

#### 1.2.1 多尺度玻璃幕墙标签库的构建

由于成像距离不同,玻璃幕墙在图像中呈现出大小不一的状态,为了同时满足不同大小目标

的提取要求,首先需要的是构建多尺度的玻璃幕墙标签库,赋以玻璃幕墙对象准确的语义信息(见图3)。多尺度标签库的图像数据主要来源于国内外大型城市的街景,包括上海中心大厦、美国银行大厦附近的景观,主要内容是街道两侧的建筑物和玻璃幕墙,标签库的图像总数约1 000张,玻璃幕墙目标总数约5 500个。

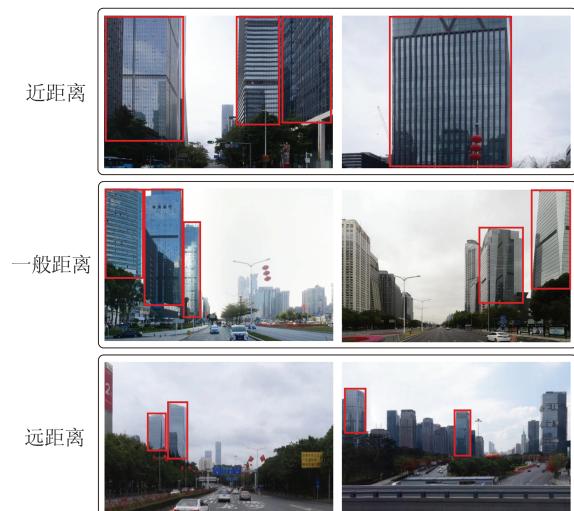


图3 不同距离和大小的多尺度玻璃幕墙对象

Fig.3 Glass Curtain Walls in Different Sizes and Distances

### 1.2.2 Glass R-CNN 模型与评价

本文在候选区域的卷积神经网络(mask region-based convolutional neural network, Mask R-CNN)<sup>[13]</sup>的基础上,建立能够准确识别玻璃幕墙对象的网络模型(glass region-based convolutional neural network, Glass R-CNN),将深度残差网络<sup>[14]</sup>作为底层的特征提取网络,微软图像数据集<sup>[15]</sup>的预训练权重作为目标识别的视觉基础。在目标检测和实例分割任务中,交并比(intersection over union, IoU)的取值不小于0.5才被认为有效,玻璃幕墙的识别任务和Mask R-CNN类似且需要高准确度的定位,参照Mask R-CNN实验将模型的IoU值定为0.75。平均精度均值(mean average precision, mAP)是最重要的目标检测和实例分割评价指标,它的值介于0到1之间且越大越好。本文通过多尺度的玻璃幕墙标签库进行迁移训练,训练集、测试集和验证集的比例为8:1:1, Glass R-CNN模型在验证数据集上的mAP值达到了86.30%,这个结果表明Glass R-CNN模型能够较好地识别街景图像中的玻璃幕墙,通过Glass R-CNN模型对玻璃幕墙进行检测和分割,彩色掩膜所覆盖的像素范围代表建筑玻璃幕墙在图像中的面积(见图4)。

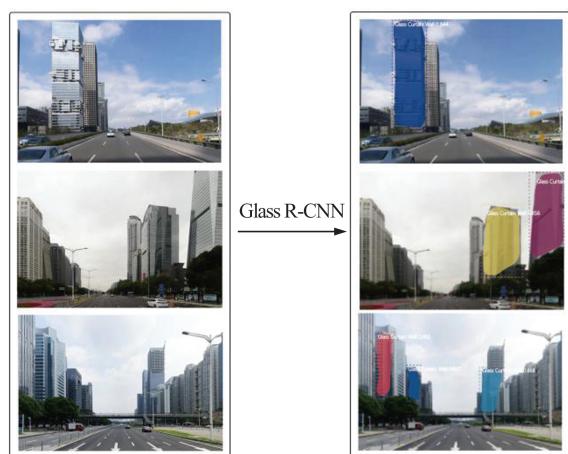


图4 玻璃幕墙的像素级分割

Fig.4 Pixel-level Segmentation of Glass Curtain Walls with Deep Learning

### 1.3 三维空间关系的建立

在三维城市的光反射场景中,引起玻璃幕墙光污染的反射光主要来自于太阳,由于时间和地理位置的变化,道路、街景立面和太阳光线之间的关系具有空间复杂性,明确复杂的三维空间关系是光污染建模的关键。

#### 1.3.1 前提与假设

对三维城市中的玻璃幕墙光污染场景作出以下前提和假设,统一光反射的计算标准。

1) 道路:研究区域内的道路处于同一个平面;道路是一条不规则的曲线,研究点所在位置的切线方向就是该点的道路方向。

2) 玻璃幕墙立面:图像中的玻璃幕墙立面均垂直于道路平面;玻璃幕墙的立面朝向与它所在图像的立面保持一致。

3) 太阳光线:太阳距离地球足够远,太阳光线被视为平行光源。

#### 1.3.2 三维空间关系和光反射场景

1) 三维空间关系。道路、玻璃幕墙立面与太阳光线之间存在典型的三维空间关系,本文中,城市街景沿路网呈现,街景图像立面以道路为载体分布在道路两侧,真实的玻璃幕墙立面具有立体的设计弧度和方向性,幕墙成像于图像中被视为同一个街景平面。同路段方向相反的研究点所对应的街景视野存在差异,路网研究点的街景视野采用与行车方向相同的3张图像,这些街景图像的立面朝向各不相同,三维空间中平行太阳光的照射对象为正对或者斜对的图像立面,与反方向相对的立面之间不发生光反射现象(见图5)。

2) 光反射场景。在城市三维环境中,太阳光

线照射于建筑玻璃幕墙上会发生光反射现象,经玻璃幕墙反射产生的眩光会对驾驶者视力造成一定影响,光反射情况与太阳光线的照射方向有关,当研究区域的地理位置确定时,太阳光线的照射方向由时间决定(见图 6)。

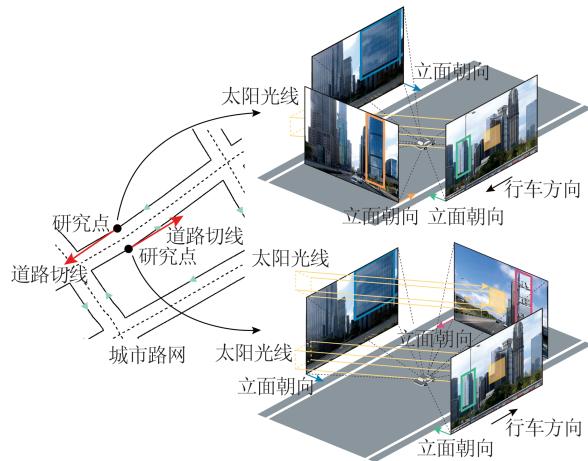


图 5 道路、玻璃幕墙立面与太阳光线的三维空间关系

Fig.5 3D Spatial Relationship Among Road, Wall Facade and Sunlight

图 6 中,仰角  $i$  为玻璃幕墙反射光线与驾驶者视线的夹角(驾驶者的视线平行于路面且沿驾驶方向延伸);太阳高度角  $h_s$ 、太阳方位角  $A$  由时间和玻璃幕墙立面的地理位置、朝向决定(式(1)~(4)), $h'_s = h_s$ ;太阳入射角  $\alpha$  为入射光线和玻璃幕墙法平面的夹角, $\beta$  为太阳光线与玻璃幕墙立面法线的平面方位角, $\beta' = \beta$ ;安全距离  $D_1$ 、道路宽度  $D_2$  均与道路属性相关。

$$\sin h_s = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \Omega \quad (1)$$

$$\cos A = \frac{\sin h_s \sin \phi - \sin \delta}{\cosh_s \cos \phi} \quad (2)$$

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(\frac{2\pi(284+n)}{365}\right) \quad (3)$$

$$\Omega = 15 \times (S - 12)^\circ \quad (4)$$

$$\text{对眩光的感觉} \propto \frac{\text{面积} \times \text{亮度}^2}{\text{仰角}^2 \times \text{距离}^2 \times \text{周围环境亮度}^2} \quad (5)$$

#### 1.4.2 参数分析

1) 距离。由于城市建筑物与道路的退让规定,建筑物与道路之间存在安全距离,建筑物和车辆的距离  $D$  与安全距离  $D_1$ 、道路宽度  $D_2$  有关:

$$D = D_1 + \frac{1}{2} D_2 \quad (6)$$

式中,安全距离  $D_1$  由道路等级决定,沿城市快速路的各类建筑,安全距离至少 20 m;沿城市主、次干路的各类建筑,安全距离至少 15 m;沿城市支路的各类建筑,安全距离至少 10 m<sup>[17]</sup>。

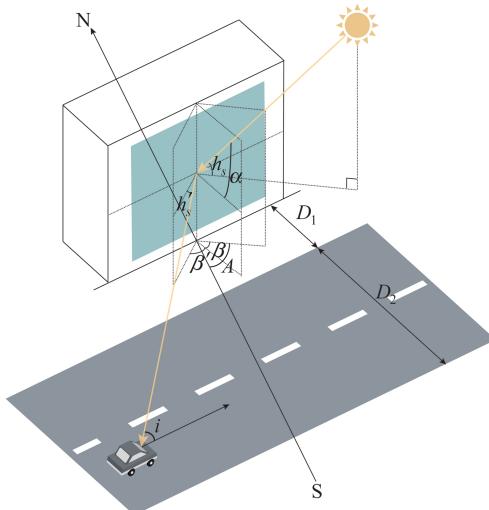


图 6 三维城市玻璃幕墙的光反射

Fig.6 Sunlight Reflection with Glass Curtain Wall in 3D City

式中, $\phi$  为当地纬度; $\delta$  为太阳赤纬; $\Omega$  为太阳时角; $n$  为日期序号,例如 3 月 22 日, $n=81$ ;  $S$  为真太阳时,以 24 h 计。

#### 1.4 玻璃幕墙光污染模型

光环境受到破坏是由于眩光的出现,环境光学中的眩光计算是当前应用最为广泛的光污染评价方式之一。从汽车驾驶者的角度出发,利用城市三维空间关系对玻璃幕墙眩光计算的关键参数进行分析和转换,由此建立的玻璃幕墙光污染模型能对眩光感觉进行有效评估。

##### 1.4.1 眩光评价模型

眩光的评价方式包括直接采用目标亮度和入射角度作为评价指标,以眩光评价等级和视野中眩光特征作为评价标准等<sup>[16]</sup>。总的来说,人对眩光的感觉和光源的面积、亮度、光线与视线的夹角(仰角)、距离及周围环境的亮度之间存在确定关系(式(5)),本文将驾驶者的周围环境亮度视为相同。

$$\frac{\text{面积} \times \text{亮度}^2}{\text{仰角}^2 \times \text{距离}^2 \times \text{周围环境亮度}^2} \quad (5)$$

2) 面积。作为光反射场景下的反射光源,玻璃幕墙在街景图像中的立面面积代表反射面积。世界坐标系下的三维玻璃幕墙通过相机成像(透视投影变换)投影于二维像平面上,玻璃幕墙对象在图像中的景深不同,近大远小导致面积的衡量标准不统一,模拟逆透视投影变换<sup>[18]</sup>过程能够使图像中的玻璃幕墙面积具有可比性,根据街景视野将城市道路平面分为 4 个区域(见图 7)。

图 7 中,驾驶者的视线距离  $L$  与公路限速、等

$$\text{级相关}^{[19]}, \theta = \frac{1}{2} \angle POQ, \gamma = \arctan \frac{D}{L}.$$

在模拟逆透视投影变换的过程中,角度变换将一张图像中的面积标准统一,以图像中线为轴,按照视野区域对应的角度朝两个方向拉伸;距离变换将不同图像中的面积标准统一,不同成像面根据距离变换为标准面。玻璃幕墙的像素面积经过模拟变换得到相对面积,即用于光污染计算的反射面积(见图8)。

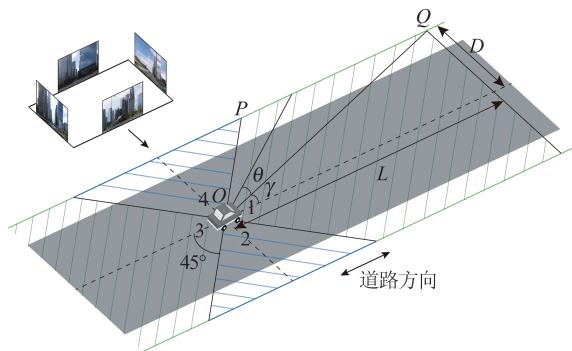


图7 道路平面的视场分析

Fig.7 Field of Visibility Analysis of Road Surface in Street View

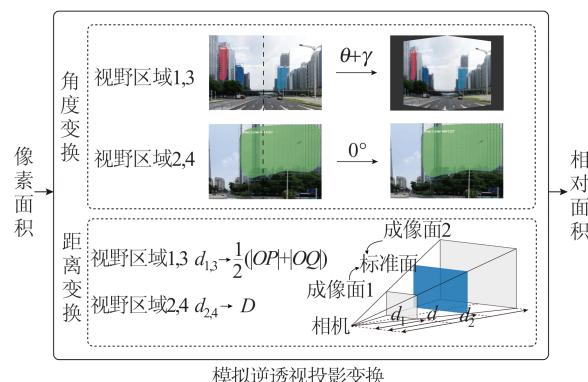


图8 模拟透视线投影变换的面积计算

Fig.8 Area Transformation Based on Similar Perspective Projection

3)亮度。亮度是眩光评价中对光线的量化和计算,玻璃幕墙表面的亮度由直射光照射到玻璃上的亮度和天空光照射到玻璃上的亮度组成。计算公式如下:

$$B = \frac{\rho E_{dv}}{\pi} \quad (7)$$

$$E_{dv} = (E_s + E_a) \cos \alpha \quad (8)$$

$$E_s = 130 \sinh_s \exp(-0.2/\sinh_s) \times 10^3 \quad (9)$$

$$E_a = (1.1 + 15.5 \sin^{0.5} h_s) \times 10^3 \quad (10)$$

式中,B为幕墙表面的亮度;ρ为幕墙材料的反射率,本文将玻璃幕墙材料的反射率视为相同;E<sub>dv</sub>为玻璃幕面上直射的日光辐照度;E<sub>s</sub>为直射日光

在地面上的辐照度;E<sub>a</sub>为天空光晴时在地面上的辐照度;exp(-0.2/sinh<sub>s</sub>)为大气透明度T=2.5时采用的大气透过函数。

## 2 实例研究

本文在典型时刻对大型城区的玻璃幕墙光污染情况进行点、路线、区域的层次化分析,结合真实三维城市信息得出实时实地的光污染时序变化规律、光污染极大值点的分布规律、光污染下的路线评估和决策等具有实际应用价值的结论,为城市建筑物规划提供帮助,为汽车驾驶者出行提出建议。

### 2.1 实验区域

本文的实验区域为中国广东省深圳市福田区,深圳市是中国车流量最大的口岸城市,福田区位于深圳市的地理中心,处于北回归线附近以南,是深圳城市整体功能的聚焦点,福田区的城市可建设用地占全区面积的74.26%,该区域有大量的建筑物使用了玻璃幕墙。本文的实验数据来源于深圳市福田区统计局和百度地图,福田区的道路呈网格式结构,主要道路共计50条。在福田区的主要路网上以200 m的间隔密度双向采样得到600×2个研究点,研究点对应的街景图像大小均为600×400像素,通过Glass R-CNN对城市街景图像进行识别获取建筑玻璃幕墙沿道路的空间分布情况(见图9)。



图9 建筑玻璃幕墙沿道路的空间分布

Fig.9 Spatial Distribution of Glass Curtain Walls Along the Roads

### 2.2 光污染随时间的变化

建筑玻璃幕墙的光污染程度随时间发生变化,大规模的光反射现象会对城市环境、居民、行人和驾驶者造成严重影响,研究玻璃幕墙光污染的时序变化规律十分必要。本文以深圳市福田区人民政府所在地的经纬度代表研究区域的地

理坐标,太阳的位置采用太阳高度角和方位角来描述<sup>[20]</sup>(见表 1),太阳方位角为正即太阳偏东(上午),为负即太阳偏西(下午)。太阳与实验区域在春分 6 个时刻(8 时、10 时、12 时、14 时、16 时、18 时)的相对位置持续改变(见图 10),太阳从地平面升起的方向接近正东偏北,从地平面落下的方向接近正西偏北。以 200 m 的间隔密度沿城市路网获取研究点,采用基于 Jenks 的自然间断点分级法<sup>[21]</sup>对春分的光污染结果进行分类,光污染分类数为 10(见图 11)。

表 1 太阳与研究区域的位置描述

Tab.1 Geographical Description of Sun and Study Region

| 春分  | 高度角/(°) | 方位角/(°) |
|-----|---------|---------|
| 8时  | 20.691  | 81.363  |
| 10时 | 47.170  | 63.974  |
| 12时 | 66.565  | 19.566  |
| 14时 | 58.913  | -47.419 |
| 16时 | 34.498  | -73.870 |
| 18时 | 7.193   | -87.356 |

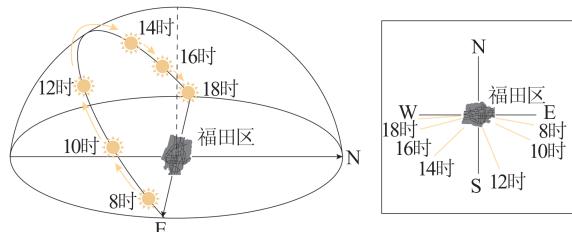


图 10 太阳与研究区域的位置变化

Fig.10 Geographical Variation of the Sun and Study Region

从整体上来看,随着时间的顺序变化,大部分研究点的光污染值先明显增大再明显减小,在 12 时和 14 时达到峰值,这与一般认知相符。光污染地图中 8 时与 18 时、10 时与 16 时、12 时与 14 时的光污染总值相近,上午、下午呈对称关系,3 组光污染地图的光污染总量比值为 1:1.8:2.7。福田区光污染程度大和光污染程度小的区域位置没有随时间发生明显改变,一天中光污染最严重的地方位于福田区的中心、西部和北部。

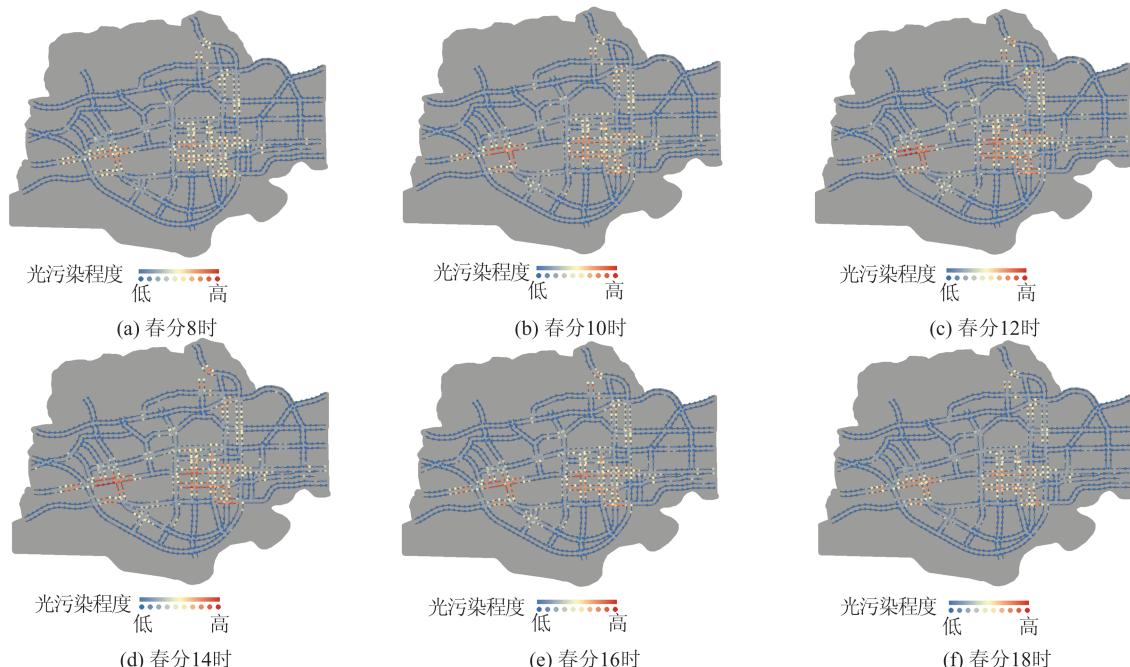


图 11 光污染时序变化

Fig.11 Temporal Variation of Sunlight Pollution

在上午、下午时间段内,太阳从福田区的东面到西南面,与太阳光线发生光反射的玻璃幕墙立面发生改变,同路段两侧方向的光污染情况有明显变化,如从 12 时到 14 时,在深南大道和新洲路交汇处以东的区域,路段北侧方向的光污染值均减小,路段南侧方向的光污染值均增大(见图 12)。

### 2.3 光污染极值分析

光污染地图中的极大值点代表该位置的光污染程度较为严重,光污染极值分析能够明确光污染强弱的空间分布情况,为汽车驾驶者的路线规划给出准确的预警,也是光污染路径计算的重要前提。以 200 m 的间隔密度沿城市路网获取研究点,用春分多个时刻(8 时、10 时、12 时、14 时、

16时、18时)的光污染均值来考量春分一天的整体情况。春分一天中极大值的5%、10%、20%光污染点集中且连续地分布在福田区路网的中心、西部和北部(见图13),福田区光污染最严重的区域按程度从大到小分别是深南大道与香蜜湖路交汇处,以市民广场为中心的网格区域,北环大道与彩田路、皇岗路交汇处南侧。

光污染地图中的6个最大值点相邻且集中分布在深南大道与香蜜湖路交汇处西侧,通过兴趣点信息和街景的匹配发现:最大值点的视野范围内存在大量的玻璃幕墙建筑物,包括东海朗廷酒店、招商银行大厦、时代科技大厦、英龙大厦、创

建大厦、花样年·喜年中心、都市阳光名苑、中国有色大厦等(见图14)。

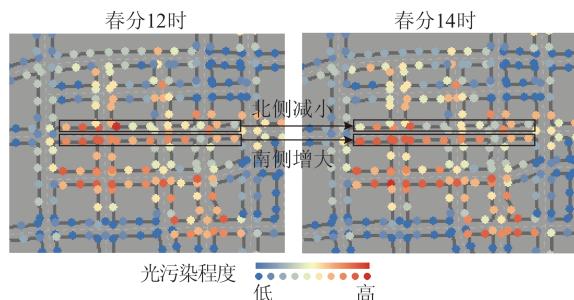


图12 路段两侧的光污染变化

Fig.12 Variation of Sunlight Pollution on the Sides of Road



图13 极大值点的空间分布

Fig.13 Spatial Distribution of Locations with Maximum Sunlight Pollution Value

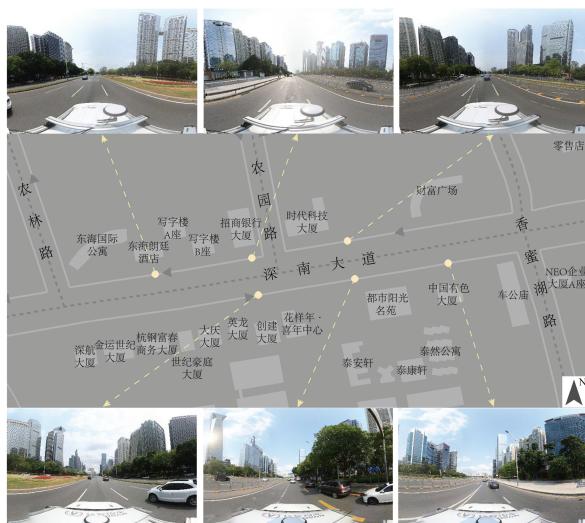


图14 极值点与真实街景

Fig.14 Locations with Max Sunlight Pollution and Real Street View

#### 2.4 光污染下的路径计算

驾驶者考虑出发点和目的地,以路线为单位来决定出行策略,利用光污染下的路径计算对驾驶者的出行风险进行综合评估,为路线规划提供可靠依据。在真实的交通场景中,瞬间的强烈眩光比普通眩光危害更大,更容易造成交通意外的

发生,因此光污染极大值是一个极为重要的评价指标,光污染计算中的相关因素有路线方向、路线长度、路线中的光污染累加值、路线中的光污染极值等。计算公式如下:

$$\text{路径光污染} \propto (\text{光污染值} \times w_1 + \text{极大值个数占比} \times w_2 + \text{极大值数值占比} \times w_3) \quad (11)$$

$$\text{光污染均值} = \frac{\sum \text{路线上点的数值}}{\sum \text{路线上点的个数}} \quad (12)$$

$$\text{极大值个数占比} = \frac{\text{极大值点的个数}}{\text{路线上点的个数}} \quad (13)$$

$$\text{极大值数值占比} = \frac{\sum \text{极大值点的数值}}{\sum \text{路线上点的数值}} \quad (14)$$

式中,极大值点的筛选比例为实验区域的前20%, $w_1+w_2+w_3=1$ ,且 $w_1, w_2, w_3$ 的值分别为0.3、0.4、0.3。

在春分一天中,福田区以市民广场为中心的网格状街区不仅道路密集,光污染程度也较为严重,在该区域的局部路网上以100 m的间隔密度,双向采样得到 $220 \times 2$ 个研究点,采用基于Jenks的自然间断点分级法对春分10时的光污染结果进行分类,光污染分类数为32(见图15)。

将该街区的M点(新洲大厦、滨河大道和新洲路的交叉口附近)、N点(园心苑、红荔路和皇岗

路的交叉口附近)交叉作为起始点和终点制定4条驾驶路线(见图15),通过路线的光污染评价得出:在春分10时,由M点出发到达N点,路线b明显优于路线a,路线a的光污染强度是路线b的5.1倍;由N点出发到达M点,路线d明显优于路线c,路线c的光污染强度是路线d的5.8倍。

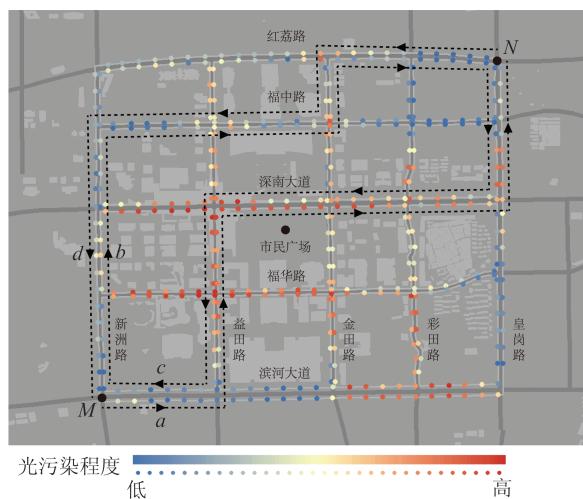


图15 市民广场附近的光污染情况

Fig.15 Sunlight Pollution Around the Civic Square

### 3 玻璃幕墙光污染实验结果

1)玻璃幕墙光污染随时间的变化规律。春分时,福田区的玻璃幕墙光污染情况随时间在程度和空间分布上存在一定的变化规律:从光污染程度上来说,光污染总量随时间的顺序变化先增大后减小,大约在正午时刻达到最高,与一般认知相符;光污染总量在上午、下午呈一定的对称关系,对应时段的光污染总量相近,但光污染情况不同。从光污染空间分布上来说,光污染程度大和程度小的区域位置没有随时间发生明显改变,一天中光污染最严重的地方位于福田区的中心、西部和北部。

2)玻璃幕墙光污染极值的分布特点。春分时,福田区玻璃幕墙的光污染极值分布情况存在明显特点:极大值点集中分布在路网的3个区域,按程度从大到小排序为深南大道与香蜜湖路交汇处,以市民广场为中心的网格区域,北环大道与彩田路、皇岗路交汇处南侧。

3)光污染的路径评价方式。玻璃幕墙光污染的路径评价方式以路线为单位,适用于福田街区的路线计算与规划:光污染极大值是路径评价中极为重要的计算指标,如极大值点的个数占比、极大值点的数值占比等。应用路径评价方

式,在春分10时以新洲大厦、园心苑交叉作为起始点、终点,得出光污染风险较小的往返路线为:新洲路↔福中路↔金田路↔红荔路。

### 4 结语

三维城市中玻璃幕墙的光污染问题是城市发展与规划中的重点内容,不同于一般的研究方法,本文从街景图像出发,在大型城区范围中,以汽车驾驶者的视角搭建三维空间关系,利用深度学习算法,结合环境光学中的评价方式,提出了新的玻璃幕墙光污染模型。三维城市的玻璃幕墙光污染模型从整体到局部多层次地实现了实时实地的光污染计算,并在深圳市福田区得到了有效的应用:光污染随时间的变化规律与一般认知相符,光污染的极值分布和实景相符,光污染的路径评价方式能够准确计算出风险小的路线。

本文中的玻璃幕墙光污染分析保留了现阶段研究中的空间计算思想,也充分利用了丰富且覆盖范围广的街景资源,扩大了城市光污染的感知范围,在宏观上给人以光污染相对强弱的概念,提高了城市光污染感知的即时性,弥补了当前光污染研究的不足,能够为城市的环境建设提供参考,面向行人和驾驶者提出眩光强弱的准确警示。后续研究中,计划对玻璃幕墙标签库进行针对性的扩充,提高玻璃幕墙分割模型Glass R-CNN的泛化能力。目前光污染地图中呈现的结果是相对值,未来可以通过专业传感器获取部分点的光污染测量值,进而推算出整个区域的光污染真实情况,使光污染地图的实用意义更强。

### 参 考 文 献

- [1] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013(中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013)
- [2] Danks R, Good J, Sinclair R. Assessing Reflected Sunlight from Building Facades: A Literature Review and Proposed Criteria[J]. *Building and Environment*, 2016, 103: 193-202
- [3] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. Light Environment Evaluation Method: GB/T 12454—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家

- 标准化管理委员会. 光环境评价方法: GB/T 12454—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017)
- [4] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. Optical and Thermal Performance of Glass Curtain Wall: GB/T 18091—2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 玻璃幕墙光热性能: GB/T 18091—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016)
- [5] Wong J. A Comprehensive Ray Tracing Study on the Impact of Solar Reflections from Glass Curtain Walls [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(1): 16-38
- [6] Shih N, Huang Y. An Analysis and Simulation of Curtain Wall Reflection Glare[J]. *Building and Environment*, 2001, 36: 619-626
- [7] Yan Bing, Qu Xinghua, Zhang Fuming. Simulation and Analysis of Glare Pollution from Glass Curtain Wall [J]. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2014, 27(1): 28-31(阎冰, 曲兴华, 张福民. 玻璃幕墙眩光污染模拟分析[J]. 城市环境与城市生态, 2014, 27(1): 28-31)
- [8] Gao Chengkang, Qin Wei, Peng Xiaochun, et al. The Monitoring and Evaluation of Light Pollution from City Glass Curtain Wall[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2015, 26 (4) : 118-123(高成康, 秦威, 彭晓春, 等. 城市玻璃幕墙光污染的监测与评价分析[J]. 照明工程学报, 2015, 26 (4) : 118-123)
- [9] Li X, Zhang C, Li W, et al. Assessing Street-Level Urban Greenery Using Google Street View and a Modified Green View Index [J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2015, 14(3): 675-685
- [10] Kang J, Körner M, Wang Y, et al. Building Instance Classification Using Street View Images[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 145: 44-59
- [11] Li X, Ratti C. Mapping the Spatio-temporal Distribution of Solar Radiation within Street Canyons of Boston Using Google Street View Panoramas and Building Height Model [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 191: 1-12
- [12] Rundle A G, Bader M D M, Richards C A, et al. Using Google Street View to Audit Neighborhood Environments [J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2011, 40(1): 94-100
- [13] Pan S, Yang Q. A Survey on Transfer Learning [J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2010, 22(10): 1345-1359
- [14] He K, Gkioxari G, Dollar P, et al. Mask R-CNN [C]//IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Venice, Italy, 2017
- [15] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016
- [16] Lin T, Maire M, Belongie S, et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context [C]//European Conference on Computer Vision (ECCV), Zurich, Switzerland, 2014
- [17] Zhou Lü, Meng Qing. Environmental Physics [M]. Beijing: China Environmental Press, 2001(周律, 孟青. 环境物理学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001)
- [18] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code of Urban Residential Areas Planning and Design: GB 50180—2018[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2018(中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市居住区规划设计规范: GB 50180—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018)
- [19] Bertozzi M, Broggi A, Fascioli A. Stereo Inverse Perspective Mapping: Theory and Applications [J]. *Image and Vision Computing*, 1998, 16(8): 585-590
- [20] Ministry of Transport of the People's Republic of China. Technical Standard Highway Engineering: JTGB01—2014[S]. Beijing: China Communications Press, 2015(中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准: JTGB01—2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015)
- [21] Brewer C, Pickle L. Evaluation of Methods for Classifying Epidemiological Data on Choropleth Maps in Series [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2002, 92(4): 662-681

## Sunlight Pollution Analysis of Glass Curtain Wall in 3D City

YING Shen<sup>1,2,3</sup> TANG Mo<sup>1</sup> ZHANG Xinyue<sup>1</sup> HU Zhenyu<sup>1</sup> GUO Han<sup>3,4</sup>

1 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518034, China

4 Shenzhen Research Center of Digital City Engineering, Shenzhen 518109, China

**Abstract:** Objectives: Sunlight pollution caused by glass curtain walls of buildings in urban environment has brought great threats to traffic safety, fire control and residents' health. At present, most researches on architecture sunlight pollution traditionally focus a local small range at specific construction based on simulation or measurement methods. We keep the way of three-dimensional (3D) computation, dissimilarly integrates geographic resources to expand the perception range of city sunlight pollution brought by building glasses. Methods: The calculation technique of sunlight pollution builds 3D spatial relationship among road, building facade and sunlight in real urban environment, using deep-learning image segmentation to extract glass curtain walls. Then, combined with glare evaluation model, we develop an innovative sunlight pollution model from perspective of drivers to evaluate the suitability for people. Results: Taking Shenzhen Futian Center as an example, the multi-level analyses of sunlight pollution are implemented by means of calculation under real time and real location, and path selection based on evaluation. Through these instances, the time sequence regularity, the spatial distribution characteristics and the path estimation of architecture sunlight pollution are revealed. Conclusions: The analyses retain space computation mode with innovations, fully utilize street view resources, and provide people the macroscopic concept, which indicates relative strength of building sunlight pollution. Additionally, the method ensures instantaneity of urban sunlight pollution acquisition and computation, to a certain extent covers shortages of current researches, and is further capable of reference evaluation in environment protection, accurate warnings and predictions of glare intensity for pedestrians and drivers.

**Key words:** urban street view; sunlight pollution model; glass curtain walls of buildings; 3D spatial relationship; deep learning

**First author:** YING Shen, PhD, professor, specializes in cartography, 3DGIS and 3D cadastre, big geo-data in smart city. E-mail: shy@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China (42071366); the National Key Research and Development Program of China (2017YFB0503500).

**引文格式:** YING Shen, TANG Mo, ZHANG Xinyue, et al. Sunlight Pollution Analysis of Glass Curtain Wall in 3D City[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(5):610-619. DOI:10.13203/j.whugis20200492(应申,唐茉,张馨月,等. 三维城市的玻璃幕墙光污染分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(5):610-619. DOI:10.13203/j.whugis20200492)