

附录 B 工业建筑屋面太阳能潜力预测

太阳能是一种绿色环保的新能源,屋面光伏太阳能的开发是应对能源危机的有效手段之一。不同类型的屋面太阳能开发的难易程度和成本又有所区别。大型工业建筑的屋面具有单体面积大、形状规则、表面相对平坦、几乎无遮挡等特点,这些特点使开发其屋面太阳能的难度和成本都比较低;同时工业厂房多相对集中地分布在工业区,便于产业的统筹规划^[1]。在目前光伏设备成本以及技术难度相对较高的情况下,优先开发工业建筑屋面的太阳能是一个可行性很高的选择。国内的分布式光伏发电设备主要从工业园区厂房等集中示范区开始^[2]。如何快速评估一个工业区内的大型工业建筑屋面的太阳能潜力就是一个值得研究的问题。

目前快速评估地区内太阳能潜力研究,主要方法是建筑物屋面面积以及地区年辐射量来估算。这牵扯到建筑物屋面面积估计和地区辐射量估计两个问题。

大范围建筑屋面面积的估计,主要有两大类方法^[3]。第一类是恒值比例法,利用一些抽样或者调研得到的经验性的比例。如基于确定人均屋顶表面比率的方法。然后通过将该比率乘以目标区域的总人口来计算总屋顶面积^[5]。这一类方法得到的结果数据精度较低。第二类方法是根据 GIS 计算屋面面积^[6],这个方法可以更加精确。但是若采用 GIS 的方法,如何快速得到较大范围内的 GIS 信息又是一个随之而来的问题。除了传统的人工调研收集,更便捷的方法是通过卫星图像提取建筑屋面信息。通过卫星图提取工业建筑屋面面积所面临的问题一方面如上文所述:需要多光谱或者航拍雷达、DSM 等信息的辅助^{[7][8]},这些专业的遥感图像通常很难直接开源地获得,需要向卫星公司或者航拍公司订购,时效性和经济性欠佳;另一方面是现有的研究都是从遥感图像中提取所有建筑物的信息,而不能单独提取工业建筑。

地区辐射量的估计一般有以下三种方法。一种方法是可以根据当地的地理外置推算太阳高度及辐射信息,结合气象卫星图等信息来计算,如 Wong 等的研究^[6]。第二种同样根据地理位置计算太阳辐射量,然后乘以一个折减系数作为气象因素的影响,如 Kurdgelashvili 等的研究^[3]。第三种方法是采用目的地或附近气象站测量的历史辐射量纪录计算太阳辐射量,如 Byrne 等的研究^[10]。另外一个需要考虑的因素是光伏板的光电转化效率。比较保守的估计是 16%^[3],Elon Musk 领导的 SolarCity 生产的光伏的效率则达到了 22%,也有生产商宣称其最先进产品已经达到 38.9%的效率^[9]。一方面考虑到未来光伏技术的发展,Byrne 的研究^[10]在计算中使用 20%的转化效率值。

本小节的研究案例基于上文所述卫星图像提取建筑面积的方法,不同之处在

于,将数据集中的工业建筑单独标记作为工业建筑训练数据集(如图 B.1 所示)。在使用工业建筑数据集训练后,经过测试,以每 2 平方公里区域积计算,本文提取的方法对工业建筑面积提取的平均误差为 4.6%,准确度指标 F1-score 达到 81% 以上,并用此方法结合历史辐射数据,对苏州的花桥镇进行了工业建筑太阳能潜力估算。

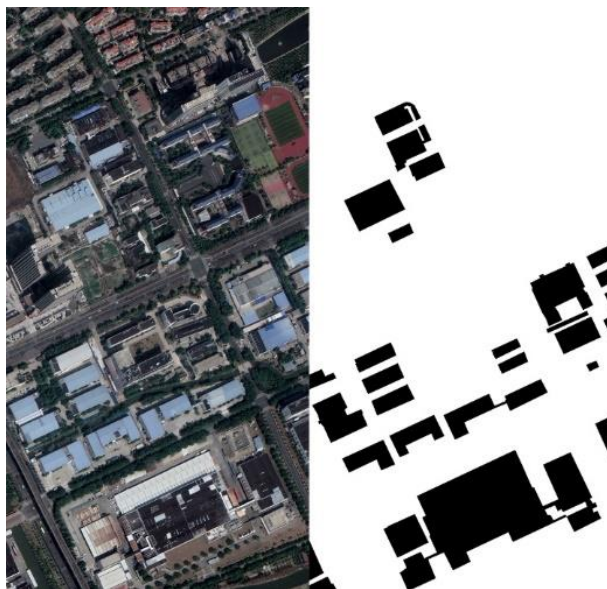


图 B.1 下载的卫星图像与工业建筑人工标注(左:遥感图片原图;右:工业建筑标注)(图片自绘)

B.1 训练与测试

使用准备好的训练数据集对模型进行训练。经过 300 轮次的训练之后达到收敛,如下图所示。本次训练使用的计算机配置为 i7-7700k+GTX1070,使用 Cuda 工具包加速,训练总时间约为 65 小时。

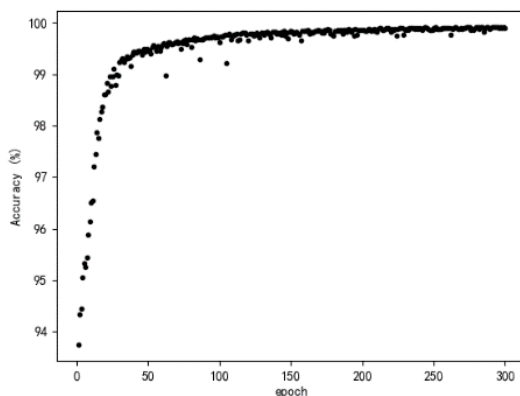


图 B.2 训练数据经过 300 轮次训练后达到收敛(图片自绘)

使用训练数据集训练完模型后将参照在验证数据集的表现选出最佳参数，然后在测试数据集上测试模型预测的性能。本案例采用 F1-score 和相对面积误差来评价模型的性能。

测试所计算的面积越小，则因为偶然性预测错误导致的相对误差就会越大：例如很小范围内只有一栋工业建筑，而模型错误地没有识别出来，则相对误差则为 100% 而 F1-score 为 0%。在测试数据集中，我们采用随机采样的方式，从 1 平方公里开始计算到 15 平方公里，每个面积采样计算 1000 次取均值，结果如下两图所示。

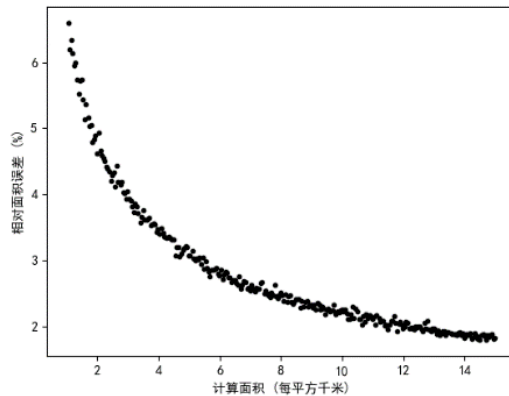


图 B.3 在测试数据集上的 F1-score 成绩 (图片自绘)

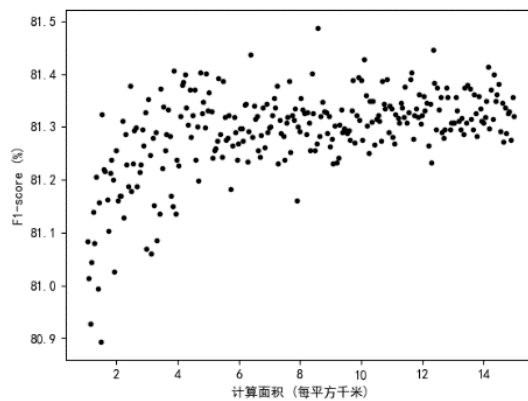


图 B.4 在测试数据集上的相对面积误差成绩 (图片自绘)

由下两图可以看出，在 2 平方公里以上的区域中预测时相对面积误差和 F1-score 都达到比较不错的成绩：F1-score 为 81% 以上，相对面积误差为 4.6% 以下。

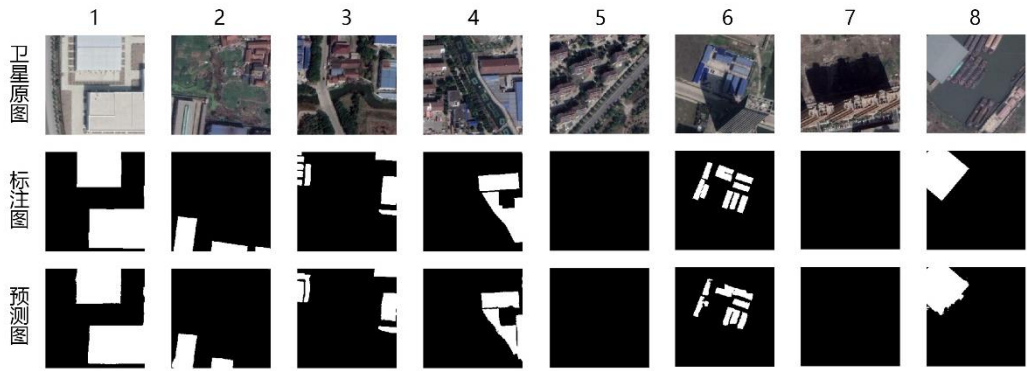


图 B.5 模型预测图与人工标注图的对比（图片自绘）

中上图所示为人工标注图与预测图的对比。1 号卫星图特点是工业建筑屋面颜色与地面颜色类似；2、3 号卫星图是工业建筑和低层居民建筑；4、5 号图为工业建筑与多层居民建筑；6、7 号图为工业建筑与高层建筑；8 号图为工业建筑与船舶。可以看出算法可以较为预测出工业建筑的形状，并且从其他物体和其他种类的建筑物中区别出工业建筑。不过还存在着边缘不太准确、有个别误判的问题。

B.2 使用模型进行工业厂房识别及面积计算

本次应用案例的地区是江苏省苏州市昆山花桥经济开发区。花桥经济开发区是一个工商业发达的上海卫星城，面积为 50 平方公里，人口 13.19 万。

使用训练好的模型进行花桥经济开发区工业建筑的识别，进行识别的计算机配置为 i7-7700k + GTX1070，所用时间为 4 分钟 23 秒。

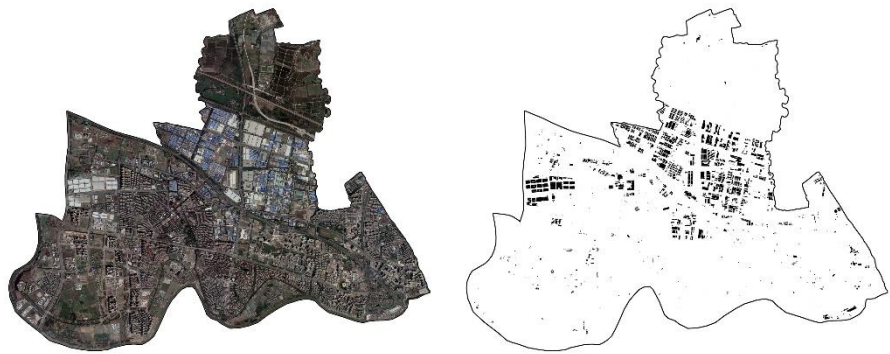


图 B.6 花桥经济开发区的卫星图与工业建筑识别图（图片自绘）

通过上图可以看出，模型的识别图准确的反映出了开发区中部地区的工业集中区，北部的低层居民建筑和农田未有误报，而南部地区多层和高层居民建筑中掺杂的少量工业建筑也有较为准确的识别。根据识别结果，花桥经济开发区的工业建筑屋面总面积为 249.3(±5.0)万平方米，工业建筑建筑密度为 4.99%。

B.3 太阳能潜力计算

已经提取了目标区域的工业建筑屋面面积，要计算太阳能光伏潜力，还需要考虑当地太阳辐射数据、建筑利用率、光伏板光电转换效率等问题。

对于太阳辐射数据，此次计算采用美国能源部提供开放下载的历史辐射数据文件^[4]，我们选取的数据由离目标区域较近的气象站测得，气象站位置为东经 121.45°，北纬 31.40°，距离花桥经济开发区距离约 30km。

对于建筑利用率，Rodriguez^[5]的研究综合考虑了两个因素：建筑适应系数，即考虑建筑结构、施工及建筑附属设备和阴影等原因造成的对屋面面积利用的折减；太阳适应系数，即考虑屋面的坡度、朝向及光伏板排布等原因造成的对太阳能辐射的折减。建筑利用率即建筑适应系数与太阳适应系数的乘积。考虑到本文所研究的是单体面积较大的工业建筑，同时屋面多为平面或者很小的坡度，同时很少受到阴影的影响，所以以无遮挡的平面屋顶简化计算，参照 Rodriguez^[5]的研究，建筑适应系数取 0.9，太阳适应系数取 1，综合建筑利用率为 1。

对于光伏板光电转换效率，参照 Byrne 的研究^[10]，综合考虑光伏技术未来的发展，将光伏板效率值设为 20%。此外还需要考虑温度、散热、负载曲线、污垢等不利因素对光伏板最高效率的折减，参照 Rodriguez^[5]的研究，较为保守的将折减系数设为 0.6。

结合上一小节提取的工业建筑屋面面积可以计算出，花桥经济开发区工业建筑屋面光伏的潜力约为 324.8Gw·h 每年。按照月份计算，结果如下图所示。

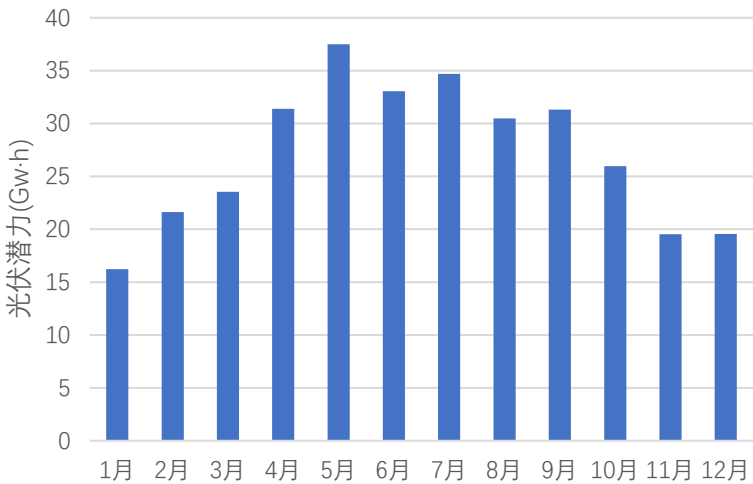


图 B.7 逐月太阳能潜力计算结果（图片自绘）

参考文献

[1] 张斐. 南方工业厂房屋顶光伏一体化构造研究[D]. 2017.

- [2] 熊建英, 陈潜, 陈超. 工业建筑屋顶分布式光伏电站施工技术[C]// 2018 年江西省电机工程学会年会论文集. 2019.
- [3] Kurdgelashvili L , Li J , Shih C H , et al. Estimating technical potential for rooftop photovoltaics in California, Arizona and New Jersey[J]. Renewable energy, 2016, 95(sep.):286-302.
- [4] Weather Data[Online]. <https://energyplus.net/weather>
- [5] Schallenberg-Rodriguez J . Photovoltaic techno-economical potential on roofs in regions and islands: The case of the Canary Islands. Methodological review and methodology proposal[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013, 20(apr.):219-239.
- [6] Wong M S , Zhu R , Liu Z , et al. Estimation of Hong Kong's solar energy potential using GIS and remote sensing technologies[J]. Renewable Energy, 2016, 99(dec.):325-335.
- [7] Zhang T , Huang X , Wen D , et al. Urban Building Density Estimation From High-Resolution Imagery Using Multiple Features and Support Vector Regression[J]. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2017, 10(7):3265-3280.
- [8] Xu X , Zhang L , Zou L , et al. Building density estimation using PolSAR images based on adaptive volume scattering model[C] IEEE International Conference on Electronic Information & Communication Technology. IEEE, 2016.
- [9] Soitec 公司聚光光伏组件转换效率达 38.9%[J]. 军民两用技术与产品, 2015(15):37.
- [10] Byrne J , Taminiau J , Kurdgelashvili L , et al. A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 41:830-844.