



# 中南大学大学生创新类项目

## 结 题 报 告

项目类型：创新训练 ☒ 米塔尔创新 ☐

业翔创新 ☐ 校企合作创新 ☐

项目级别：国家级（省级） ☐ 省级 ☒ 校级 ☐

（请在 ☐ 中划“√”）

项目名称： 基于改进遗传算法的校园 5G 基站选址方案

项目编号： 201910533578

负责人姓名： 雷尚霖

负责人手机号： 15243607486

负责人 E-mail： 1098411671@qq.com

项目所在学院： 自动化学院

指导教师姓名： 周晓君

指导教师手机号： 13787052648

指导教师 E-mail： micheal.x.zhou@csu.edu.cn

执行年限： 一年

填表日期： 2020.03.08

中南大学

2020 年制

## 填 写 说 明

1. 结题报告由正文和附件两部分组成,正文部分请按表格要求填写,要求层次分明,内容准确,根据需要可加页;附件部分包括学术论文、竞赛获奖证书等相关成果复印件,附在正文的后面,左侧用钉书针装订。

2. 项目所在学院初审项目后,统一将结题报告一式一份报送中南大学创新与创业教育办公室。

3. 项目结题验收结果为:优秀、良好、合格和不合格。

## 一、基本情况

项目名称		基于改进遗传算法的校园 5G 基站选址方案				
主要成果						
项目主要研究 人员	序号	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目分工
	1	雷尚霖	0904170220	测控技术与 仪器 1702 班	自动化学院	模型构建
	2	王童斐	0904170211	测控技术与 仪器 1702 班	自动化学院	数据收集
	3	王政	2210170118	测控技术与 仪器 1701 班	自动化学院	算法实现
	4	李河	0905170224	通信工程 1702 班	计算机学院	论文编写
	5					
参与创新 创业教育 活动情况		1. 无				
		2.				
		3.				
参加学科 竞赛情况		1. 中国大学生数学建模竞赛国家级二等奖 2. 中国机器人中型仿真赛技术挑战赛冠军 3. 中国机器人中型仿真赛季军			校级： 中南大学交通科技大 赛三等奖	
参加创新 创业比赛 情况		省部级（含）以上： 无			校级：	
参与相关 训练或实 践情况		校外：无			校内： 1. 创客空间：_____ 2. 实验室：_____ 3. 科研平台：_____ 4. 其他：_____	

参加中国“互联网+”大学生创新创业大赛等创新创业赛事、参加“互联网+”大赛“青年红色筑梦之旅”等活动情况	
--	--

## 二、项目执行情况简介

内容提示：项目的目的和意义、国内外研究现状；预定计划执行情况，研究报告和过程记录情况；团队成员分工和合作情况。（国家级项目 1500 字左右、省级项目 1000 字左右、校级项目 800 字左右，附件另附。）

### 2.1 研究意义

对于电信运营商来说，通信网络的规划中投资金额的 70%以上都在通信基站的选址优化和建设的工作<sup>[1]</sup>。故在建设价格更加高昂的 5G 通信基站时，更应根据实际的中南大学南校区的校园环境的需求，并考虑覆盖率，由 NSA 和 SA 组网方式共存的 5G 基站的成本预算，通讯容量，以及校园的人口密度等方面的因素。

本项目在其他因素一定的情况下，通过对覆盖率及建站成本等目标进行优化，从而得到建设基站的方式，数目以及位置，可见 5G 基站的选址问题是一个多目标优化问题。

### 2.2 研究现状

近年来，在基站选址方面，传统智能优化算法如蚁群算法、遗传算法、粒子群算法、模拟退火方法等因其求解的侧重点不同，被不同的学者引用时，分别取得了不错的效果。从前人的研究结果来看，粒子群算法有着只传递最优信息，搜索速度快，具有记忆性，需要调整参数少，机构简单的优点，同时兼备着易于陷入局部最优，缺乏速度调节机制，收敛精度低和不易收敛的特性；而遗传算法有着良好的全局搜索能力、良好的收敛性、计算时间少、具有内在并行性的优点，同时兼备着问题编码困难，对初始种群的依赖性等缺点。

华中科技大学的杨成龙主要研究了 3G 基站选址中的覆盖问题，对 3G 系统进行覆盖规划，并给出了理想的容量计算模型，最后用 LINGO 软件进行了仿真实验，得出了基站和移动台之间的连接图。

同为华中科技大学的朱思峰在硕士期间提出量子免疫算法解决基站优化选址中存在的多目标优化问题，博士期间提出通过免疫计算来设计基站选址中存在的多目标优化问题。

Munnayaze 以基站的覆盖率需求以及重复区域信号干扰问题，以遗传算法为求解方式，提出了相关的基站选址方案<sup>[1]</sup>。

Gabli 则以建设基站成本的最优化为首要目标，在此基础上考虑覆盖率的最大化<sup>[2]</sup>。

黄陈衡提出数字室内分布技术，针对 InH Office\_NLOS\_模型分析计算室内分布系统链路预算<sup>[3]</sup>。

孙开宇基于 5G 的 3.5GHz 频段对典型的密集城区场景采用了 3GPP UMa-NLOS（城市宏蜂窝-非视距）传播模型，通过链路预算得出 5G 在 3.5GHz 的下行覆盖距离，为 5G 初期网络规划提供参考依据<sup>[4]</sup>。

北京邮电大学的廖伟琛提出了运用无监督聚类技术对用户日常流量进行挖掘，进而找到网络流量需求量大的区域及用户体验差的区域，从而为基站优先部署的选址提供辅助依据<sup>[5]</sup>。

哈尔滨工业大学的于洪涛博士提出动态资源调度、跨层优化和下行功率分配算法逐步讨论了多载波通信系统中的无线资源分配问题，并论述了算法对于系统资源利用率、公平性以及 QoS 保障等性能的提升，为 5G 的多载波通信提供了理论基础<sup>[6]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 杨成龙. 3G 基站选址中覆盖问题的研究[D]. 华中科技大学, 2011.
- [2] 朱思峰, 刘芳, 柴争义. 基于免疫计算的 TD-SCDMA 网络基站选址优化[J]. 通信学报, 2011, 01:106-110+120.
- [3] Munnayaze J, Kuricn A, Van Wyk B. Optimization of antenna placement in 3G networks using genetic algorithms[C]//Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications, 2008 Third International Conference on. IEEE, 2008: 30-37.
- [4] Giabli M, Jaara E M, Mermri E B. A possibilistic approach to UMTS base-station location problem[J]. Soft Computing, 2016, 20(7): 2565-2575.
- [5] 廖伟琛. 基于聚类的数据挖掘技术在未来网络基站部署策略中的应用[D]. 北京邮电大学, 2018.
- [6] 于洪涛. 基于 LTE-A 的无线资源分配算法研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2017.

## 2.3 工作内容

本文纵盘考虑，配合 5G 选址的新要求，综合了遗传算法和粒子群算法，并加以改进，提出了 PSO\_GA 算法，利用 PSO\_GA 算法的特性，对 5G 基站选址进行优化，根据中南大学实时地况，考虑人口密度因素，以在可控的最小成本范围内，获得最佳的覆盖率，从而为电信运营商的通讯基站的优化选址提供参考依据并使求解复杂度以及求解结果相较这些算法单独考虑时得到了不同程度的优化。

### 2.3.1 项目进展详细情况

2019 年 4 月~2015 年 5 月，技术探究与资料收集，了解目前行业内对于 5G 基站部署的研发情况，查阅相关文献资料，论证项目的可行性，明确创新训练目的，内容，思路以及技术路线，完成创新训练项目的实施方案规划。

2019 年 5 月~2019 年 6 月，在前期工作的基础上，利用已有的编程知识及数学理论体系，具体研究学习的 5G 信号的信号损耗计算函数，参考基站部署相关设计资料，完成基站部署方案的具体信号损耗计算模型。

2019 年 6 月~2019 年 7 月，利用无人机对中南大学进行定点巡航拍摄，取得二维素材，抽取部分素材进行 3D 建模，取得中南大学南校区包括 1 栋~28 栋宿舍区及 2 食堂在内的 3D 模型及所有位置的三维坐标

2019 年 8 月~2019 年 9 月，使用红外测距仪对指定地区的长度进行测量，从而对 3D 模型进行验证，结果不太理想。之后采用了人流量监测仪对中南大学各个热点地区进行了人流密度监测，并结合校园 3D 模型取得了热点地区坐标，同时取得基站安装备选点的坐标及监测点坐标。

2019 年 9 月~2019 年 10 月，讨论研究了 5G 基站的最优部署方案模型，通过输入已知的监测点坐标及放置点坐标，及信号损耗函数，通过多天计算，终于取得的基站放置点的坐标，但经过实际验证，基站部署方案并不合理。通过研究发现主要原因是由于 3D 模型的坐标不够精确导致计算出的基站部署点位置有大幅偏差。于是经过缜密思考，从卫星地图上直接获取经纬度坐标而后再转化为平面坐标被认为是一种比较精确且合理的方案。

2019 年 10 月~2019 年 11 月，经过二次选点，并舍弃了对部分地区采样处理的策略，直接对整个中南大学南校区进行基站部署，在五个热点地区对基站部署进行了规划得到了基站部署的初步方案。

2019 年 12 月~2020 年 1 月，通过大量研究和复现遗传算法和粒子群算法的相关文献，提出了 PSO\_GA 算法。同时在 OpenstreetMap 开源地图网站上获取了大量的中南大学南校区边缘坐标信息，通过 Arcmap 软件对坐标信息处理得到了精度很高的直角坐标图信息，使得复现中南大学南校区建筑物对信号传播的影

响成为可能。结合人口流量密度，对整个 5G 基站选址模型进行了极大的丰富和重构，最后用 PSO\_GA 算法求解，得出选址方案。（相关选址方案附于学术论文）

2020 年 2 月~2020 年 3 月，总结前期工作，撰写论文，报告。

### 2.3.2 具体工作内容分配

模型构建：雷尚霖，王政，王童斐。

数据收集：雷尚霖，王童斐。

算法实现：王政，雷尚霖。

论文编写：雷尚霖，王童斐，王政，李河。

## 三、项目研究总结报告

内容提示：项目取得的主要成果，如发表论文、获得专利情况、创新点、实践意义和社会影响；研究工作有哪些不足，有哪些问题尚需深入研究；项目研究工作中的收获、困难、问题和建议。（国家级项目 5000 字左右、省级项目 4000 字左右、校级项目 3000 字左右，附已发论文或其它成果证明材料复印件。）

### 3.1 创新点

#### 3.1.1 选题开拓性

无线通信是通过电磁波进行通信，而频率越高，频率上所携带的资源就越庞大，从而实现的传输速率就越高。但是频率越高，电磁波波长就越短，衍射能力就变弱，就越近似为直线传播。电磁波频率越高，在传播介质中的损耗也越大。如果移动通信使用了高频段的 5G 信号，相应的传输距离相较于 4G 将大幅缩短，覆盖能力也将大幅减弱。覆盖同一个区域，5G 基站的需求将会比 4G 基站多十到百倍。过去的无线通信方式以小区分裂模式为主，但是随着 5G 基站覆盖半径的减小，宏观下的小区分裂很难进行，所以需要在室内外热点区域密集部署小功率的基站，即超密集组网。基于以上原因，在使用高频率 5G 信号的前提下，为了减轻网络建设成本方面的压力，微基站的使用必不可少。通过 5G 基站“宏+微”的模式，可以实现热点地区大部分区域的信号覆盖。但是 5G 微基站的覆盖半径只有几十米，而且高频电磁波传输距离近，传输损耗大，所以 5G 基站选址将成为一个关键性问题。

#### 3.1.2 数据处理真实性

相较于其他的通讯基站选址研究，往往是建立一个理想的布局环境，且选址成本由于基站的单一性和布局环境的理想性而毫无研究性可言，而我们

的项目从中南大学南校区边缘轮廓点的收集，南校区内部建筑物、湖泊、操场等公共设施边缘轮廓点的收集，都是从权威的地图网站上下载的 XML 文件数据，通过专业的地理信息软件 Arcmap 进行处理得到精确的经纬度数据，再通过中期报告里面总结的经纬度转换直角坐标信息算法进行了从 WGS-84 坐标系到国家-80 坐标系的转换，当中同时也用到了七参数和四参数转换算法，以降低坐标转换时的误差。经过以上处理便得到了与现实中南大学南校区（如图 1）相似度极高的直角坐标仿真图（如图 2），为此项目的这真实性可行性打下了良好的基础。



图 1 中南大学南校区地图

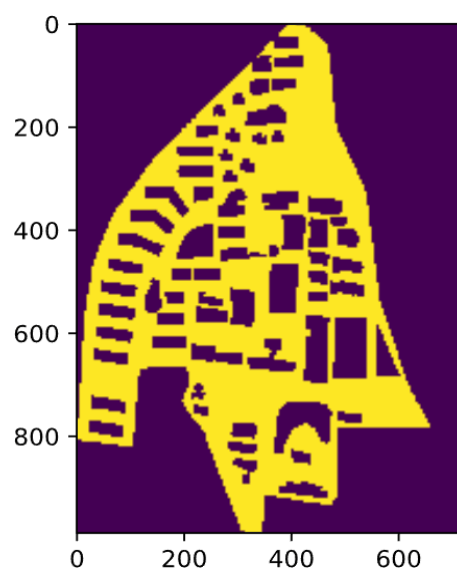


图 2 直角坐标仿真图

此外，我们还考虑了人口密度因素在中南大学南校区基站选址产生的影响，为了收集真实准确的中南大学南校区人流量密度数据，我们在各个路段的分岔口均设置了红外线计数器，记录了 4 月，9 月，11 月三月份在 23 个主要岔路口（日人流量大于 100）的人流量，即便是在这些 23 个主要的岔路口里面，也存在着极其悬殊的人流量差别，二食堂周围的岔路口以及通往新校的南校出口是人流量最高的区域，日均超过 4.5 万；而由七食堂与 24 栋和 7 栋与八食堂组成的两个快递区——食堂区综合体，日均人流量均超过 2.7 万，每到晚上八点钟，南校操场区域便到处都是喜欢锻炼的中南学子们，操场入口处，日均人流量超过 1.5 万，这些都是值得重点部署的区域，为了真实的模拟实际的情况，我们选用了人口密度等级来量化这一差异，并将它可视化如下：



黄色区域为等级一，人流量密度为最小；墨绿色区域为等级二，人流量密度为中等；浅绿色区域为等级三，人流量密度为较大；黄绿色区域为等级四，人流量密度为最大。

在这之中，等级一区域最大，覆盖了所有区域。等级二区域次之，涵盖了中南大学南校区主要人流活动区域。等级三区域有四个分块，分别为操场，八食堂与7栋快递点聚集区域，24栋快递点聚集区域与七食堂区域，升华公寓出口与二食堂区域。等级四区域为中南大学每日人流量密度最大的二食堂与食堂前面的三岔路口。具体可视化如图3。

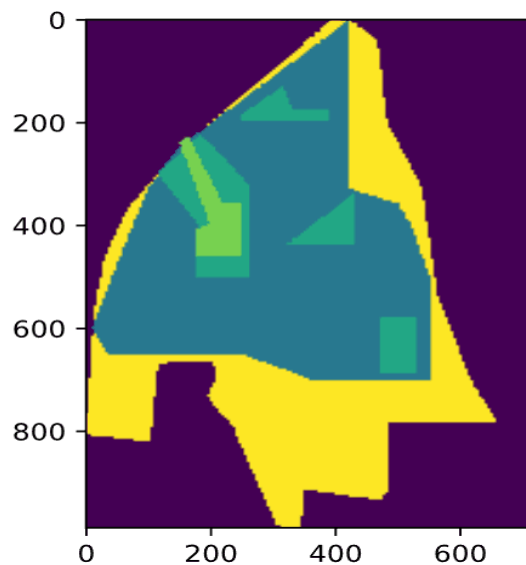


图3 等级区域可视化图

### 3.1.3 算法新颖性

粒子群算法有着只传递最优信息，搜索速度快，具有记忆性，需要调整参数少，机构简单的优点，同时兼备着易于陷入局部最优，缺乏速度调节机制，收敛精度低和不易收敛的特性；而遗传算法有着良好的全局搜索能力、良好的收敛性、计算时间少、具有内在并行性的优点，同时兼备着问题编码困难，对初始种群的依赖性等缺点。

我们配合5G选址的新要求，综合了遗传算法和粒子群算法，并加以改进，提出了PSO\_GA算法，利用PSO\_GA算法的特性，对5G基站选址进行优化，根据中南大学实时地况，考虑人口密度因素，以在可控的最小成本范围内，获得最佳的覆盖率，从而为电信运营商的通讯基站的优化选址提供参考依据。使求解复杂度以及求解结果相较这些算法单独考虑时得到了不同程度的优化。

### 3.2 实践意义

在 4G 时代,我们见证了移动互联网是如何从社交,购物,教育,交通等方方面面改变了我们的生活,然而作为 4G 之后的延伸,5G 却有着 4G 难以比拟的特性,其主要特点是波长为毫米级,超宽带,超高速,超低延时。从 1G 到 4G 都是着眼于人与人之间更加方便快捷的通信,但 5G 将让人们能够随时随地与万物互联,让全球真正同步。

无线通信是通过电磁波进行通信,而频率越高,频率上所携带的资源就越庞大,从而实现的传输速率就越高。但是频率越高,电磁波波长就越短,衍射能力就变弱,就越近似为直线传播。电磁波频率越高,在传播介质中的损耗也越大。如果移动通信使用了高频段的 5G 信号,相应的传输距离相较于 4G 将大幅缩短,覆盖能力也将大幅减弱。覆盖同一个区域,5G 基站的需求将会比 4G 基站多十到百倍。过去的无线通信方式以小区分裂模式为主,但是随着 5G 基站覆盖半径的减小,宏观下的小区分裂很难进行,所以需要在室内外热点区域密集部署小功率的基站,即超密集组网。基于以上原因,在使用高频率 5G 信号的前提下,为了减轻网络建设成本方面的压力,微基站的使用必不可少。通过 5G 基站“宏+微”的模式,可以实现热点地区大部分区域的信号覆盖。但是 5G 微基站的覆盖半径只有几十米,而且高频电磁波传输距离近,传输损耗大,所以 5G 基站选址将成为一个关键性问题。解决好了 5G 基站的选址问题,便是给 5G 时代的信息高速公路铺好了地基,5G 有三大特点:

① eMBB 增强型移动带宽:具体体现为传输速度变快,上传和下载速度以 G 作为单位,云端数据库将会得到大量的应用,几乎所有的数据流资源将实现在线交流。

② mMTC 大规模机器通信:大规模物联网能够得以实现,

③ uRLLC 高可靠低时延:传输数据安全可靠且基本不会有什么延时,自动驾驶得以实现。

具体应用方面:

① 能够实现大规模数据传输的 5G 通信,会导致人类对于信息可视化方式的全面改变,4G 时代普遍通用的 2D 视频流会被 3D 全息投影取代,支持云 VR/AR 的 5G 通信方式会解决视觉,听觉传输质量问题,以及物理传输距离问题,让虚拟现实真正成为现实。

② 人工智能驾驶:高可靠和低时延解决了安全问题,而万物互联感应则可以提供数据,众多车辆的出行数据和红绿灯,将会得到云以及大数据的统一分析和控制。自动驾驶将会是一个比人类自行驾驶更加可靠的方案。

③ 个人智能设备:针对盲人的智能头盔,可以和其他设备互联,辅助盲人行走,做事等等.

### 3.3 社会影响

在上一部分的实践意义方面,提出的具体应用需求都会因为 5G 基站的选址完成而逐步成为现实,规划好一个考虑因素更全面的 5G 基站选址对于国民经济,社会发展都是起着至关重要的作用.

随着疫情的逐步影响,国家已经出台了 40 万亿新基建计划,除了最基本的交通道路设施,还有很大部分的科技基建,科技基建是 5G 的商用,比如智能城市建设、车联网、自动配送系统等。

2019 年杭州就已在部分区域初步建立了空中无人机自动配送系统,在城市的中心商圈、写字楼、社区,建立了无人机接驳的自动化存储柜。并且用无人机配送车做最后 100 米的配送,初步实现了全城自动化配送,这些都是智慧城市的雏形。作为二线城市的互联网第一城,杭州对于高科技的商用一直走得很靠前,5G 对于社会影响的巨大,从杭州的这些智慧城市的雏形变可见一斑。

### 3.4 研究工作中的不足

作为 5G 基站选址研究,我们考虑了真实地形地况的模拟,人口密度因素的量化,5G 信号信道传输损耗模型的构建与损耗的估算等。但是真正深入到基站网络容量的计算,我们却因为不是通信工程的科班出身而采取了简化考量。但是实际上网络容量部分也是值得深挖的,因为 5G 基站区别于 4G 基站便体现在 5G 基站存在的大量的天线传输阵列,且运用了大规模 MIMO 技术,实现了分频复用和分时复用,同时各个部分的传输天线分配给对应的扇区所能覆盖的用户的频道资源亦是需要纳入考量的。但是由于相关信息的封锁,以及这样处理造成问题处理的复杂性会上升好几个量级,我们便采取简化考虑。

### 3.5 收获、问题、困难以及建议

#### 3.5.1 结果收获

我们经过多次仿真测试，得到了宏基站数为 5，微基站数为 20 的基站选址方案，具体展示如图 4。

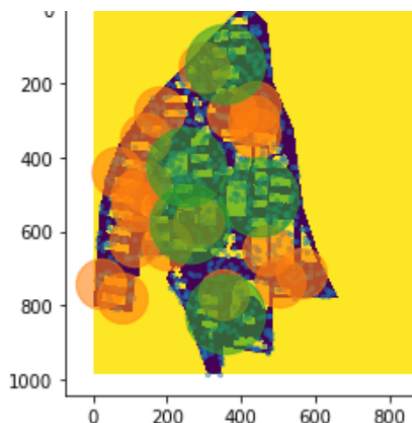


图 4 选址方案图

可以看到在几个重要的人口密度较高的区域，均实现了通讯信号很好的覆盖，且以宏基站为核心部署，周围布置微基站的原则，很好的避免了因为建筑物对毫米波的阻挡而对用户通讯信号产生的影响，实现了热点地区全覆盖。经过计算，我们在这个仿真实验中设定的根据人口密度随机设定的 1000 个覆盖点的覆盖率为 91.4%，基本满足了日常室外 5G 通讯的要求。

#### 3.5.2 过程收获

在设计基站最初，我们设想通过无人机航拍进行数据采集，通过 3D 建模来获得最真实的校园位置数据，但是实际操作过程中发现，由于无人机在拍摄时候的角度和时间不同，计算机模拟的效果并不好。因为要用无人机对中南大学南校区进行一次完整的航拍，无人机一次续航时间是肯定不够的，而两次航拍时，势必会造成拍摄角度和拍摄背景的不完全一致，最后会导致在计算机进行仿真时出现极大的误差。如图 5 所示

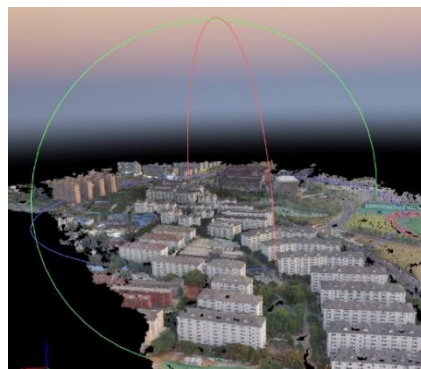


图 5 南校区 3D 仿真图

虽然肉眼无法看出其中的端倪，但是在计算机导出数据的时候，会发现即便是一个建筑物，俯瞰图的四个顶点上下高度都超过了 5 米，并且无法构成一个封闭图形。考虑到如此大的误差，我们便采取别的方式来获取点的数据。于是我们思考从 3D 建模转变为 2D 平面建模，将基站到用户端的垂直距离设定一个常量来考虑。

于是我们获取数据的方式从无人机实地采集转变为从权威网站下载的 XML 文件进行数据提取，再进行整合以及坐标转化得出中南大学南校区的轮廓点以及中南大学南校区内部建筑物、湖泊以及操场的轮廓点。用 python 的 matplotlib 包呈现如图 6。

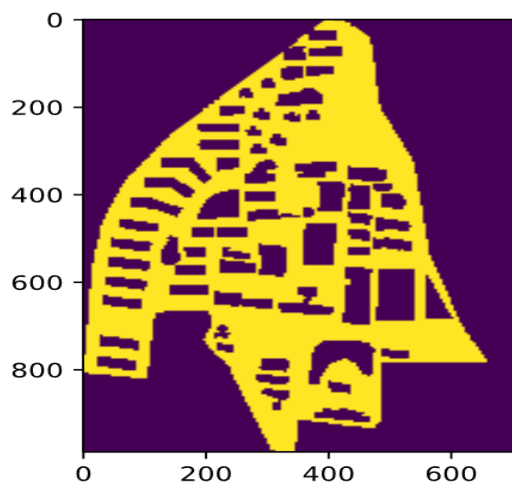


图6 南校区轮廓图

### 3.5.3 遇到的困难

万事开头难，作为拥有资源稀少的大学生想要解决一个工程性问题时，在前期收集数据和寻求方法的过程中，我们遇到了很多阻力，一方面对于权威数据收集这件事毫无经验可以借鉴，另一方面，方法的提出需要我们能够掌控的数据作为支撑。即对于一个工程性问题，作为解决问题的方法，和提供给解决问题的数据，本身就是相互制约的，只有多尝试，明确了我们真正可以采集并且能够落入实用的数据时，根据这个数据而建立起来的方法才有可能被提出和实现。

解决好了数据问题，并且明确了求解目标，问题便解决了一大半，对于算法实现，实际上是对于已知的各种算法的优势合并和劣势舍去的一种考验

仅仅对于本项目而言，数据的准备和目标的明确占据了整个项目实施周期的三分之二，这实在是对于整个项目时间资源利用的极大浪费。

### 3.5.4 建议

成立项目需求小组，为项目所需资源的获取提供更加便利的服务。

## 四、经费使用情况

经费合计 10000 元，其中，学校配套资助 10000 元，学院配套资助 10000 元，其他经费 0 元。

名目	用途	金额（元）	备注
论文版面费	无	0	
专利申请费	无	0	
调研、差旅费	无	0	
打印、复印费	打印论文	3000	
资料费	购买期刊	4500	
试剂等耗材费	无	0	
元器件、软硬件测试、小型硬件购置费	购买红外线计数器等耗材	2500	
其他			

## 五、指导教师审核意见

项目指导教师对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等。

指导教师签章：

年 月 日

## 六、学院结题审核意见

项目负责人所在学院（系）专家组对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等。

负责人签章：

年 月 日

## 七、学校专家组结题审核意见

对项目研究的任务、目标、方法和研究成果水平等进行评价，是否同意结题。

专家组组长签名：

年 月 日

## 八、学校创新与创业教育办公室结题审核意见

盖章：

年 月 日