

2019 年“深圳杯”数学建模挑战赛

B 题

新一代通信网络设计与规划

中山大学：林天皓
龙行健
卢浩文

2019 年 6 月 4 日

目录

1	摘要	3
2	问题重述与分析	3
2.1	微波问题 1	3
2.2	微波问题 2	4
2.3	骨干网问题 1	4
2.4	骨干网问题 2	4
3	模型假设	4
3.1	微波问题	4
3.2	骨干网问题	5
4	符号说明	6
4.1	微波问题	6
4.2	骨干网问题	6
4.2.1	数据需求模型	6
4.2.2	城市评分模型	7
4.2.3	蚁群算法模型	7
5	模型建立	8
5.1	微波相关 1.2.3.4.5	8

5.2	数据需求模型	8
5.3	城市评分模型	11
5.3.1	平均年龄评分	11
5.3.2	人均可支配收入评分	11
5.3.3	人口评分	12
5.4	蚁群算法模型	12
5.5	最小生成树模型	13
6	问题求解	13
6.1	微波问题 1	13
6.2	微波问题 2	13
6.3	骨干网问题 1	13
6.3.1	网络需求评估	13
6.3.2	网络部署方案	13
6.4	骨干网问题 2	15
7	还需要整理排版	16
8	还需要撰写初稿	16
	附录	18
A	数据需求量评估	18

B 遗传算法模型——微波问题一 Matlab 代码	19
C 遗传算法模型——微波问题二 Matlab 代码	19
D 蚁群算法模型 Matlab 代码	19
E 最小生成树算法模型 Matlab 代码	19

1 摘要

2 问题重述与分析

2.1 微波问题 1

分析题目可知，我们的相控阵天线由 32 个天线组成，每一个天线能发出相对独立的波束，这些波束之间互相叠加与干涉，最终我们的相控天线 < 各个波束信号之间是如何叠加与干涉的模型 >，然后对这 32 根各有 5 种移相器配置方式（包括关闭波束）的天线找到一种波束配置方式，使得叠加这些波束，发出的信号在水平角 $AZ = 10^\circ$ ，俯仰角 $EL = 5^\circ$ 的方向上合成功率大于 $35dBm$ ，同时为了避免对在位置 $AZ = 10^\circ$ ，俯仰 $EL = 10^\circ$ 站点的干扰，需要发出的信号在水平角 $AZ = 10^\circ$ ，俯仰角 $EL = 10^\circ$ 的方向上的合成功率尽可能小，为了避免减小旁瓣，还要求其他方向的合成功率尽可能小。我们对这三个目标进行了量化分析，建立了 < 波束配置方式效用评价模型 >。由于配置方式种类多达 5^{32} 种，传统的遍历式搜索无法在有限时间内给出一个最优解，而遗传算法非常善于解决这种搜索空间庞大，目标明确的问题，所以我们选择使用遗传算法求解。

2.2 微波问题 2

与上题不同的是，该题不是要求单个方向的合成功率达到 $35dBm$ ，而是在共有 91 个方向的一片区域上的平均功率达到 $35dBm$ ，其次为了保证接收机在这片区域上的信号强度相对稳定，凹坑尽可能小——即在这片区域上信号功率的极差尽可能小，同时关闭尽可能多的天线加快扫描速度。针对这三个目标，我们需要对这些问题量化，同时建立 < 区域覆盖评价模型 >，鉴于该问题的搜索空间与微波问题一相同，我们继承了问题一采用的遗传算法搜索一种使得评价函数值尽可能大的配置方式。

2.3 骨干网问题 1

2.4 骨干网问题 2

对于骨干网问题二，可以不需要满足整个网络的需求，要取得效益最大的网络建设效果。不难估计，建设骨干网络是一个边际效益递减的工程，覆盖最后百分之十的成本一定比覆盖前百分之十的成本要高，所以我们设定骨干网络建设效率函数评估当前选定的网络建设方式，成本尽可能低，覆盖率（当前网络建设下满足的流量/全省流量）尽可能大。对于这个二元函数，我们逐个参数考虑，先考虑覆盖率一定时候成本最低是多少，接下来找到性价比（覆盖率/成本）最高的点，得到接入网络价值最大的部署方案。

3 模型假设

3.1 微波问题

1. 假设微波接收机在无穷远处，即微波接收机与所有阵列天线的角度相等
2. 在所给的测量数据中，相控天线每 5° 给出一组实际测量数据，我们以其数据代表其附近 2.5° 区域内的信号强度和相位。

3. 功率与相位实际测量数据中的空数据 (*inf* 和 *nan* 数据) 均视为 0 进行处理

3.2 骨干网问题

1. 各个城市、人群的实际数据需求量总体随时间递增, 但它并不是随时间一直增加的——例如, 每一天, 用户带宽需求都会随着时辰的改变而改变。信息网络的部署实际上应该着眼于每天/每周的用网高峰期。则在本文中, 我们讨论的“数据需求量”均表示每天/每周用网高峰期的实际数据需求量。
2. 骨干网承担各城市对外网络交互的出入口功能, 起止点应该设于各个城市中心我们合理地假设所有光缆铺设的起止点位于各个城市的市政府附近, 并以各市市政府位置为标准测量各城市间的距离。
3. 光缆的铺设与维护是一项专业性工作, 不需要像铺设公路考虑驾驶员安全一样苛刻。在铺设光缆时, 只需要避开极端地形。不考虑海拔变化/地形因素对光缆长度的影响, 我们合理地假设在两城间铺设光缆时, 成本最低的方案大致为全线沿直线铺设。依此, 一并假设光缆的成本仅由起止点、线路类型、光缆中光纤数目决定。
4. 不考虑光缆的铺设时间。
5. 假设未来用户数据需求量呈指数形式的增长。
6. 假设广东省各城市未来十年人口基本不变。
7. 由于潮汕三市——汕头、揭阳、潮州所选基点(市政府)距离极小, 且基本可以确定最佳连接方案就是广州-……-揭阳, 揭阳-汕头, 揭阳-潮州。则在构建蚁群算法模型和最小生成树模型时, 将潮汕三市作为一个整体考虑

4 符号说明

4.1 微波问题

1. k : 单天线的五种配置方式, 取值为 0, 1, 2, 3, 4, 分别代表该天线: 关闭, 位移 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$
2. \vec{e}_i : 单个天线在区域中某点产生的信号矢量
3. w_i : 单个天线在区域中某点产生的功率强度
4. \vec{E}_i : 32 个天线在区域内某点叠加后的矢量
5. $|\vec{E}_i|$: 32 个天线在区域内某点叠加后的矢量强度
6. φ_{ik} : 单个天线在区域内某点的配置方式下相位大小, k 在此处不等于 0
7. G_v : 目标点功率值
8. I_v : 干扰点功率值
9. O_v : 单个个体的适应值
10. $W = 20 \cdot \log_{10}|\vec{E}|$: 功率和信号强度的转化公式

4.2 骨干网问题

4.2.1 数据需求模型

1. O 层: 数据需求的层次结构中的目标层, 即数据需求量。
2. C 层: 数据需求的层次结构中的准则层, 包括了商业需求、个人需求、行政需求。
3. D 层: 数据需求的层次结构中的决定层, 包括了年龄、收入、人口。
4. A_{X-Y} : X 层的所有元素对上一层 Y 元素之影响的成对比较矩阵
5. λ_{max} : 成对比较矩阵的最大特征值 (或其组成的向量)

6. $\vec{\omega}_{C-O}$: A_{C-O} 的最大特征值所对应的特征向量, 称为权向量
7. W_{D-C} : $A_{D-C_1}, A_{D-C_2}, A_{D-C_3}$ 的最大特征值分别对应的特征向量组成的矩阵, 称为权向量矩阵
8. n_{x-y} : 进行成对比较的元素数目
9. CI_{X-Y} : 层次分析中的一致性指标
10. RI_{X-Y} : 层次分析中的平均随机一致性指标
11. CR_{X-Y} : 层次分析中的随机一致性比率

4.2.2 城市评分模型

1. C_k : 城市 k
2. Y_k : 城市 k 的平均年龄
3. x_{k1} : 城市 k 的年龄得分
4. I_k : 城市 k 的人均可支配收入
5. x_{k2} : 城市 k 的收入得分
6. P_k : 城市 k 的人口
7. x_{k3} : 城市 k 的人口得分
8. x_k : 城市 k 的 (加权后) 总得分
9. N_k : 城市 k 的数据需求量

4.2.3 蚁群算法模型

1. n : 城市数量
2. $d_{k_1 k_2}$: 城市 k_1, k_2 的距离
3. N_k : 城市 k 的数据需求量

4. $N_{k_1 k_2}$: 城市 k_1, k_2 的数据需求量之和
5. a : 蚁群算法信息素权重参数
6. b : 蚁群算法原始权重参数
7. c : 蚁群算法信息素挥发速度参数
8. d : 蚂蚁走过路线时该线路增加的信息素含量
9. s : 蚂蚁种群数量
10. P_i : 蚂蚁向其他城市移动的概率向量
11. T_{ij} : 城市 k_1, k_2 之间路线的信息素含量

5 模型建立

5.1 微波相关 1.2.3.4.5

5.2 数据需求模型

建立层次结构模型，如图片 1，这个图会乱跑最终定稿再来调浮动体参数固定他。

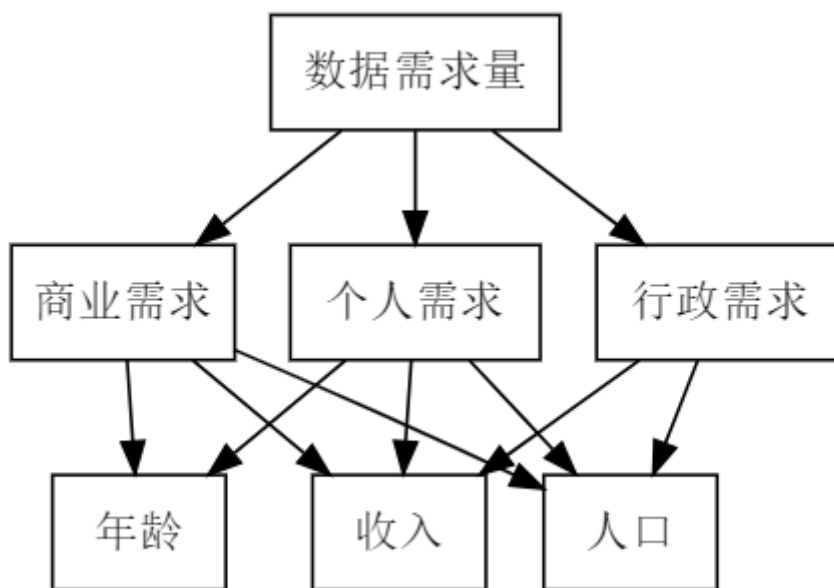
1. C 层对数据需求量的影响：

(a) 建立成对比较矩阵： $A_{C-O} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & 4 \\ 4 & 1 & 8 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix}$

- (b) 求得最大特征值 $\lambda_{max} = 3.0536$ 及其对应的权向量为

$$\vec{\omega}_{C-O} = (0.2227, 0.7071, 0.0702)$$

- (c) 由 $n_{c-o} = 3$ ，求得 A_{C-O} 的一致性指标 $CI_{C-O} = 0.0268$



图片 1: 数据需求层次结构

- (d) 由 $n_{c-o} = 3$, 得平均随机一致性指标 $RI_{C-O} = 0.58$, 则随机一致性比率 $CR_{C-O} = 0.0462 < 0.1$, 接受该层分析。

则认为商业需求, 个人需求, 行政需求对数据需求量影响的比重分别为 0.2227, 0.7071, 0.0702。

2. D 层对数据需求量的影响:

- (a) 为 D 层对商业需求的影响建立成对比较矩阵:

$$A_{D-C_1} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{8} & \frac{1}{6} \\ 8 & 1 & 1 \\ 6 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- (b) 为 D 层对个人需求的影响建立成对比较矩阵:

$$A_{D-C_2} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{8} \\ 2 & 1 & \frac{1}{7} \\ 8 & 7 & 1 \end{bmatrix}$$

- (c) 为 D 层对行政需求的影响建立成对比较矩阵：
 （其中 D_1 不影响行政需求）

$$A_{D-C_3} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- (d) • 求得这三个成对比较矩阵的最大特征值向量为

$$\lambda_{max} = (3.0092, 3.0349, 2)$$

- 其对应的权向量矩阵为

$$W_{D-C} = \begin{bmatrix} 0.0672 & 0.0813 & 0 \\ 0.4887 & 0.1349 & 0.3333 \\ 0.444 & 0.7838 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

- 对应的 D 层对 O 层的组合权向量为

$$\omega_{D-O} = \begin{bmatrix} 0.0672 & 0.0813 & 0 \\ 0.4887 & 0.1349 & 0.3333 \\ 0.444 & 0.7838 & 0.6667 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.2227 \\ 0.7071 \\ 0.0702 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0725 \\ 0.2276 \\ 0.6999 \end{bmatrix}$$

- (e) 则 D 层对 C 层的一致性指标为

$$CI_{D-C} = [0.0046, 0.0174, 0] \times \begin{bmatrix} 0.2227 \\ 0.7071 \\ 0.0702 \end{bmatrix} = 0.0133$$

- (f) 又有 D 层对 C 层的平均随机一致性指标为

$$RI_{D-C} = [0.58, 0.58, 0] \times \begin{bmatrix} 0.2227 \\ 0.7071 \\ 0.0702 \end{bmatrix} = 0.5393$$

- (g) 则 D 层对 O 层的组合随机一致性比率为 $CR_{D-O} = 0.0462 + \frac{0.0133}{0.5393} = 0.0709 < 0.1$ ，接受该层分析。

综上,得到年龄,收入,人口对数据需求量影响的比重分别为 0.0725, 0.2276, 0.6999

5.3 城市评分模型

5.3.1 平均年龄评分

当今社会中的年轻人,特别是大学生使用互联网教多,数据需求量较大。数据需求量的峰值大约在年龄为 15 岁 25 岁之间达到。广东省内各城市平均年龄均大于 30 岁,则年龄与数据需求量大致可视为负相关,则选择以反比例尺度对平均年龄评分

- 以广州市的平均年龄 $Y_1 = 34.4$ 岁为 100 分
- 某市 C_k 的平均年龄为 Y_k , 满足 $Y_1 = \frac{x_{k1}}{100} \cdot Y_k$, 则该市年龄得分为 x_{k1}
- 任一城市 C_k 的年龄得分为

$$x_{k1} = \frac{100Y_1}{Y_k}$$

5.3.2 人均可支配收入评分

数据需求量应当与收入呈正相关,但随着收入的增加,数据需求量的增长率不会一直保持水平,应该随收入的增加而逐渐降低。则选择以对数尺度对人均可支配收入评分:

- 以广州市人均可支配收入为 100 分
(设广州市人均可支配收入 $I_1 = 5.5356 = a^{100}$ 万元)
- 某市 C_k 的人均可支配收入 $I_k = a^{x_{k2}}$ 万元, 则该市收入得分为 x_{k2}
- 任一城市 C_k 的收入得分为

$$x_{k2} = \log_{I_1}(I_k^{100}) = \frac{100 \ln I_k}{\ln I_1}$$

5.3.3 人口评分

由于城市需求量大致是每个群体的群体需求量的总和，所以人口与数据需求量大致成线性关系。则选择以线性尺度对城市人口评分

- 以广州市的人口 $P_1 = 1490.44$ 万人为 100 分
- 某市 C_k 的人口为 P_k ，则该市的人口得分为

$$x_{k3} = \frac{100P_k}{P_1}$$

5.4 蚁群算法模型

1. 根据每两个城市之间的距离 d_{ij} 和每两个城市数据需求量之和 $N_{ij} = N_i + N_j$ ，建立路径的原始权重邻接矩阵

$$D_{ij} = \frac{N_{ij}}{d_{ij}}$$

2. 创建信息素邻接矩阵 T ，大小与 D 相同
3. 对 s 只每只蚂蚁随机选取城市 i 做为起点
4. 对于每只蚂蚁，计算蚂蚁向其他城市移动的概率向量 P_i

$$P_i = \left[\frac{D_{i1}^b T_{i1}^a}{\sum_{k=1}^n D_{ik}^b T_{ik}^a} \quad \frac{D_{i2}^b T_{i2}^a}{\sum_{k=1}^n D_{ik}^b T_{ik}^a} \quad \dots \quad \frac{D_{in}^b T_{in}^a}{\sum_{k=1}^n D_{ik}^b T_{ik}^a} \right]$$

5. 蚂蚁按照概率 P_i 选择移动的路线，选择向 j 点移动把该条线路上的信息素含量 T_{ij} 增加 d ，若蚂蚁的位置已经在广州，则不再使得该蚂蚁移动
6. 信息素挥发，令 $T = (1 - c)T$
7. 循环步骤 3 到步骤 5 多次，最终每只蚂蚁都到达广州，算法终止，得到最终的信息素矩阵 T ，分析信息素矩阵中信息素含量较大的路线为相对重要的路线

5.5 最小生成树模型

6 问题求解

6.1 微波问题 1

6.2 微波问题 2

6.3 骨干网问题 1

6.3.1 各城市数据需求量评估

对广东省各城市人口、平均年龄、人均可支配收入^[1]，根据 5.3 城市评分模型进行评分，并根据 5.2 数据需求模型评价各个城市的需求总分。以 xxxxxxxx 为标准，得到单位分数对应的数据需求量，以此评估广东省各城市的数据需求量。

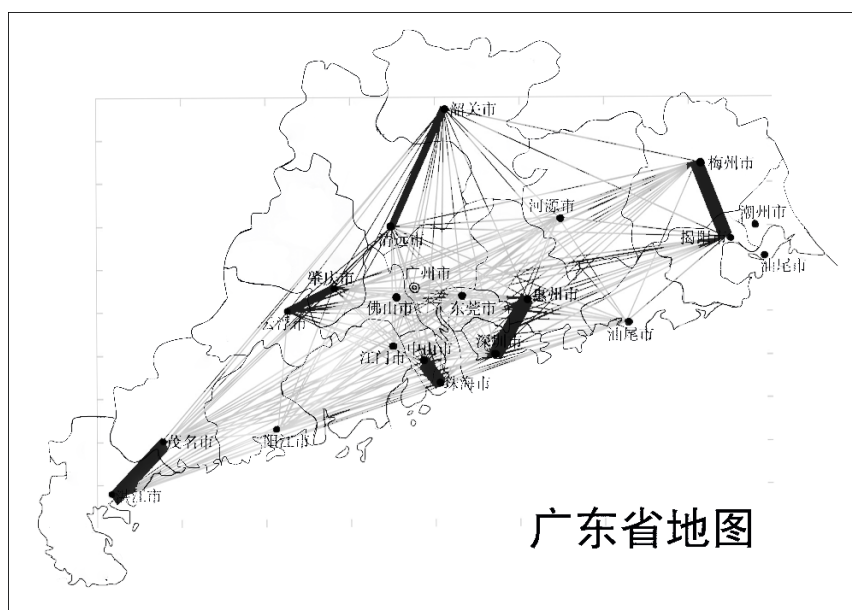
6.3.2 网络部署方案的设计

借助 6.3.1 中获取的各城市数据需求量：

1. 使用 5.4: 蚁群算法模型，选取的参数为

- $n = 19$ （客观事实，其中广州市编号为 1）
- $a = 2$
- $b = 1$ （蚁群算法原始权重参数）
- $c = 0.3$ （蚁群算法信息素挥发速度参数）
- $d = 0.3$ 蚂蚁走过路线时该线路增加的信息素含量
- $s = 50$ 蚂蚁种群数量最终将信息素含量的大小作为边的粗细

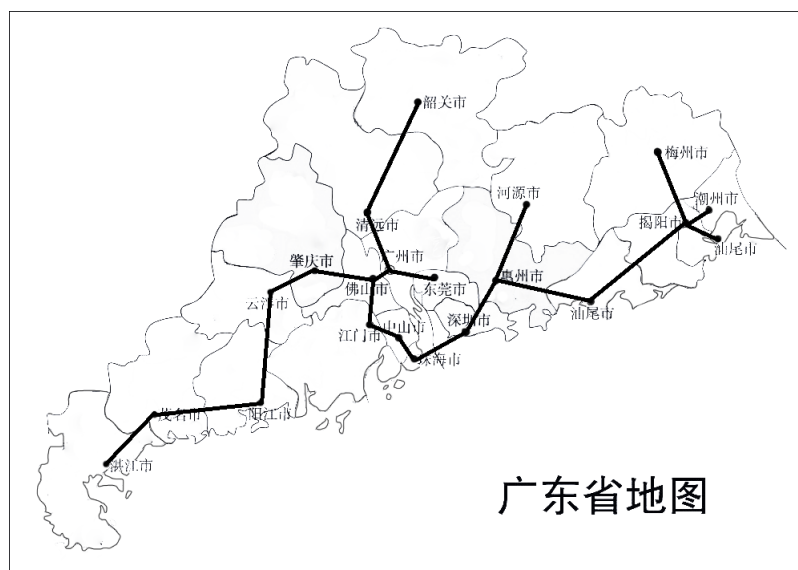
得到:



图片 2: 蚁群算法方案

我们决定以这些边为基础创建网络

2. 使用 5.5: 最小生成树模型，得到:



图片 3: 最小生成树方案

可以发现最小生成树算法得到的线路网络与蚁群算法的结果非常吻合，综合

7 还需要整理排版

1. 问题分析 lthmd 中的骨干网问题 1（等 lth 把最后一句的逻辑处理完）
2. 微波问题论文 md 中除符号外全部（两个模型，两个求解）
3. 6.3.1中的 xxx 标准（回归分析）
4. 所有代码

8 还需要撰写初稿

1. 最小生成树模型解析
2. 微波问题论文 md 中除符号外全部

参考文献

- [1] 广东省统计局, 广东统计信息网 (及首页中各市链接),
<http://stats.gd.gov.cn/>, 2019.5.12.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部,2019 年 1-4 月份通信业经济运行情况,
<http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057511/n3057518/c6969297/content.html>,2019.5.31
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部,2017 年 1 — 4 月份通信业经济运行情况,
<http://www.miit.gov.cn/n1146312/n1146904/n1648372/c5653421/content.html>,2019.5.31
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部,2016 年 8 月份通信业经济运行情况,
<http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057511/n3057518/c5264001/content.html>,2019.5.31
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部,2015 年 7 月份通信业经济运行情况,
<http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057511/n3057518/c3602990/content.html>,2019.5.31
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部,2014 年 6 月份通信业经济运行情况,
<http://www.miit.gov.cn/n1146312/n1146904/n1648372/c3336719/content.html>,2019.5.31

附录

A 数据需求量评估

(数据来自 [1])

1	C_k	Y_k	x_{k1}	I_k	x_{k2}	P_k	x_{k3}	x_k	N_k
2	广州	34.4	100	5.54	100	1490.4	100	100	15.24
3	佛山	34.4	100	4.96	93.62	790.57	53.04	65.68	10.01
4	东莞	30.6	112.4	4.93	93.27	839.22	56.31	68.79	10.48
5	江门	34.5	99.71	2.95	63.31	459.82	30.85	43.23	6.588
6	清远	34.5	99.71	2.24	47.05	387.4	25.99	36.13	5.505
7	中山	33.5	102.7	4.69	90.27	331	22.21	43.53	6.634
8	肇庆	31.7	108.5	2.41	51.33	415.17	27.86	39.05	5.95
9	珠海	33.4	103	4.81	91.8	189.11	12.69	37.24	5.675
10	深圳	32.1	107.2	5.75	102.3	1302.7	87.4	92.22	14.05
11	惠州	31.6	108.9	3.39	71.4	483	32.41	46.82	7.135
12	云浮	31.2	110.2	1.92	38.24	252.69	16.95	28.56	4.352
13	韶关	34.7	99.14	2.37	50.37	299.76	20.11	32.73	4.987
14	河源	31.7	108.5	1.94	38.72	309.39	20.76	31.21	4.756
15	阳江	32.9	104.6	2.32	49.05	255.56	17.15	30.75	4.685
16	湛江	32.5	105.8	2.14	44.53	733.2	49.19	52.24	7.96
17	茂名	30.9	111.3	2.14	44.32	631.32	42.36	47.81	7.285
18	汕尾	31.3	109.9	2.1	43.36	299.36	20.09	31.89	4.86
19	揭阳	32	107.5	2	40.63	608.94	40.86	45.64	6.954
20	汕头	32.5	105.8	2.44	52.19	563.85	37.83	46.03	7.014
21	潮州	34.3	100.3	2.09	43.09	265.66	17.82	29.55	4.504
22	梅州	33.8	101.8	2.12	43.96	437.88	29.38	37.95	5.782
总和			2207		1293		761.3	987	150.4

B 遗传算法模型——微波问题一 **Matlab** 代码

C 遗传算法模型——微波问题二 **Matlab** 代码

D 蚁群算法模型 **Matlab** 代码

E 最小生成树算法模型 **Matlab** 代码