

# 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 5 日

## 目录

<b>1</b>	<b>问题分析</b>	<b>5</b>
1.1	微波问题 1 . . . . .	5
1.2	微波问题 2 . . . . .	5
1.3	骨干网问题 1 . . . . .	6
1.4	骨干网问题 2 . . . . .	6
<b>2</b>	<b>模型假设</b>	<b>7</b>
2.1	微波问题 . . . . .	7
2.2	骨干网问题 . . . . .	7
<b>3</b>	<b>符号说明</b>	<b>8</b>
3.1	微波问题 . . . . .	8
3.2	骨干网问题 . . . . .	8
3.2.1	数据需求模型 . . . . .	8
3.2.2	城市评分模型 . . . . .	9
3.2.3	蚁群算法模型 . . . . .	10
3.2.4	最小生成树模型 . . . . .	10
3.2.5	网络传输格式选型评价模型 . . . . .	10
3.2.6	网络传输性价比模型 . . . . .	11
<b>4</b>	<b>模型建立</b>	<b>12</b>

4.1	单点功率计算模型 . . . . .	12
4.2	适应度模型 1 . . . . .	13
4.3	适应度模型 2 . . . . .	14
4.4	数据需求模型 . . . . .	15
4.5	城市评分模型 . . . . .	17
4.5.1	平均年龄评分 . . . . .	17
4.5.2	人均可支配收入评分 . . . . .	18
4.5.3	人口评分 . . . . .	18
4.6	蚁群算法模型 . . . . .	19
4.7	最小生成树模型 . . . . .	19
4.8	网络传输格式选型评价模型 . . . . .	21
4.9	网络传输性价比模型 . . . . .	22
<b>5</b>	<b>问题求解</b>	<b>24</b>
5.1	微波问题 . . . . .	24
5.1.1	遗传算法构建 . . . . .	24
5.1.2	微波问题 1 . . . . .	24
5.1.3	微波问题 2 . . . . .	27
5.2	骨干网问题 1 . . . . .	29
5.2.1	网络需求评估 . . . . .	29
5.2.2	线路部署位置 . . . . .	31

5.2.3 线路类型及光纤数 . . . . .	34
5.3 骨干网问题 2 . . . . .	37
<b>6 模型的评价</b>	<b>39</b>
6.1 模型的优点 . . . . .	39
6.2 模型的缺点 . . . . .	39
6.3 模型的推广 . . . . .	39
<b>7 模型的改进</b>	<b>40</b>
<b>附录</b>	<b>42</b>
<b>A 遗传算法模型——微波问题一 Matlab 代码</b>	<b>42</b>
<b>B 遗传算法模型——微波问题二 Matlab 代码</b>	<b>47</b>
<b>C 蚁群算法模型 Matlab 代码</b>	<b>51</b>
<b>D 最小生成树算法模型 c++ 代码</b>	<b>54</b>
<b>E 网络传输性价比模型模型 Matlab 代码</b>	<b>59</b>

## 摘 要

本文研究的是相控阵列天线的配置方式和骨干网的构建,针对前者,我们将所给天线量化,建立波束配置方式效用评价模型和区域覆盖效用评价模型;针对后者,我们建立了城市网络需求量评估模型,网络传输性价比评价模型和网络传输格式选型优化模型。

针对微波问题一,通过分析目标方向上天线信号矢量的叠加结果,得到天线信号关于波束不同配置方式的函数方程,建立波束配置方式效用评价模型作为遗传算法的适应度参数,运用遗传算法搜索得出一种较优的矢量配置方式优的矢量配置方式  $Z_1^T$ 。

针对微波问题二,基于微波问题一波束配置模型,我们构建了区域覆盖效用评价模型,得到区域平均功率  $M$  和凹坑大小  $D$  关于不同配置方式的函数方程,同时,将其作为遗传算法的适应度参数,用算法搜索得出结果  $Z_2^T$ 。

针对骨干网问题一,先通过分析全国人均流量年际变化,运用回归分析方法估计 2028 年广东省全省流量为  $150.4Tb/s$ 。根据广东省各个城市的人均可支配收入,平均年龄,人口数量,运用层次分析法建立城市评分模型估计各个城市未来流量需求量。结合城市位置和所需流量,运用最小生成树和蚁群算法找到一种网络构建方法。在确定网络构建方法后,建立网络传输格式选型优化模型,运用遗传算法和最大流算法,找到了成本为  $1439.5X$  满足全省流量的网络建设方法。

针对骨干网问题二,建立了网络传输选型性价比函数,通过对每个覆盖率下成本最小的选型方式回归分析,得到了覆盖率与最小成本的拟合方程,取得性价比函数与覆盖率的关系,当性价比最大时,覆盖率为 75%。

**关键词:** 天线覆盖 骨干网部署 遗传算法 回归分析 层次分析法

## 1 问题分析

### 1.1 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总体的信号是这些波束互相叠加与干涉之后的结果。由此，我们建立单点功率计算模型，计算所有天线在区域内单点处的功率。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。为了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。

### 1.2 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，同时建立区域覆盖效用评价模型，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。

### 1.3 骨干网问题 1

题目给出，未来用户数据需求量呈指数形式的增长，需要对骨干网改造满足未来的要求。首先，我们需要建立数据需求模型、城市评分模型、评估 2028 年各个城市的信息需求量（由于题目假设需求量呈指数形式的增长，所以，只要满足 2028 年的需求，之前年份的需求也一定能被满足）。其次，需要解决如何构建网络和网络选用哪一种传输格式的问题，如何构建网络需要考虑线路最大传输距离和城市所需要流量的大小，而选用何种传输格式，多少根线的问题，这涉及到成本的考虑。题目附件给出传输容量为  $800Gb/s$  的线路每  $Gb/s$  的相对成本最低，但是最大传输距离最短，所以，距离在  $80km$  以内的线路都采用这一种线路。最后，我们需要寻找满足全部需求的情况下成本最小的路线部署位置及铺设光纤数。整合线路选择、路线部署位置与铺设光纤数，就是我们要找的网络建设部署方案。

### 1.4 骨干网问题 2

对于该题，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。

## 2 模型假设

### 2.1 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  $5^\circ$  给出一组实际测量数据，我们以其数据代表其附近  $2.5^\circ$  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

### 2.2 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。且不考虑光缆的铺设时间。
4. 假设未来用户数据需求量呈指数形式的增长。
5. 假设广东省各城市未来十年人口基本不变。
6. 由于潮汕三市——汕头、揭阳、潮州所选基点（市政府）距离极小，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



### 3 符号说明

#### 3.1 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.  $\varphi_{ik}$ : 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.  $K$ : 旁瓣功率大小, 即除了目标点功率之外其余点中功率最大的值
11.  $D$ : 凹坑的功率大小, 即全局最大最小值之差;
12.  $C$ : 波束关闭的数量;
13.  $W = 20 \cdot \log_{10}|\vec{E}|$ : 功率和信号强度的转化公式

#### 3.2 骨干网问题

##### 3.2.1 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.  $\lambda_{max}$ ：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

### 3.2.2 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

### 3.2.3 蚁群算法模型

1.  $n$ : 城市数量
2.  $u_{k_1 k_2}$ : 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  $k_i, k_j$  之间路线的信息素含量

### 3.2.4 最小生成树模型

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

### 3.2.5 网络传输格式选型评价模型

1.  $Req$ : 全省所需要的网络流量
2.  $Cost$ : 建设网络所需要的标准成本
3.  $W$ : 网络对全省网络需求的满足率

4.  $f_K$ : 当前配置方式下全省最大允许的网络流量
5.  $L$ : 网络传输格式设置向量, 长度 21
6.  $K$ : 每条路径采用的网络线路数量向量, 长度 21
7.  $C$ : 每条路径网络流量容量向量, 长度 21
8.  $l_i$ : 第  $i$  条路径的传输格式设置
9.  $d_i$ : 第  $i$  条路径的距离
10.  $k_i$ : 第  $i$  条路径采用的网络线路数量, 由附件可知最大为 80
11.  $c_i$ : 第  $i$  条路径网络流量容量;
12.  $K_m$ : 由遗传算法计算得出的最优网络线路数量向量

### 3.2.6 网络传输性价比模型

1.  $W$ : 网络对全省网络需求的满足率
2.  $f_K$ : 当前配置方式下全省最大允许的网络流量
3.  $K$ : 每条路径采用的网络线路数量向量, 长度 21
4.  $E(K)$ : 当前配置方式下的网络性价比

## 4 模型建立

### 4.1 单点功率计算模型

考虑天线阵列在半球面上产生的功率状况，将半球面展开成平面，在欧几里得平面几何中进行运算，因为题目给的数据为隔  $5^\circ$  取一点，所以采用单点叠加代表一个  $5^\circ \times 5^\circ$  的区域面积功率大小。对于单个天线  $u_i$ ，其在水平  $(-180, 180)$  和垂直  $(-90, 90)$  某点产生的功率  $w_i$  大小为：

$$w_i = 20 \log_{10} |e_i|$$

考虑对于单点矢量信号  $E_i$ ，将其信号强度投影到 x 轴和 y 轴上，则

$$e_{ix} = \vec{e}_i \times \cos(\varphi_{ik}), \quad e_{iy} = \vec{e}_i \times \sin(\varphi_{ik})$$

对于单个天线区域内单点的合信号  $\vec{E}_i$ ，其计算公式为

$$\vec{E}_i = \sum_{1 \leq i \leq 32} \vec{e}_i$$

对于单个天线区域内单点的合信号的模  $|E_i|$ ，由矢量的计算公式，得

$$\begin{aligned} |\vec{E}_{ix}| &= \sum_{1 \leq i \leq 32} |\vec{e}_{ix}| \\ |\vec{E}_{iy}| &= \sum_{1 \leq i \leq 32} |\vec{e}_{iy}| \\ |\vec{E}_i| &= \sqrt{|\vec{E}_{ix}|^2 + |\vec{E}_{iy}|^2} \end{aligned}$$

最后，可得所有天线在区域内单点处的功率

$$W_i = 20 \log_{10} |E_i|$$

## 4.2 适应度模型 1——波束配置方式效用评价模型

为了量化遗传算法中的适应值，起到评价单个个体在种群中的竞争地位的目的，我们选用单个个体波束配置方式的效用模型作为其适应度的参考值，模型的构建如下：

$$Ov = \underbrace{\frac{1}{1 + e^{-(Gv-a)b}}}_{\text{Ov-weight}} \times \underbrace{ce^{\left(\frac{d-Iv}{f}\right)}}_{\text{Iv-weight}} \times \underbrace{K^{-\mu}}_{\text{K-weight}}$$

其中  $a, b, c, d, f, \mu$  分别是该模型中  $Gv$  和  $Iv$  可以调整的权重参数，在问题的求解中可以通过调整达到较优化的结果。

该模型由三部分组成：

第一部分是目标点功率值，即  $Ov$  的权重，我们采用 *sigmol* 函数来配比，其目的是为了筛选出题目硬性要求的目标点功率值在 35dbm 以上的个体，使得他们在种群中的竞争优势大大增加。

第二部分则是干扰点的功率值，即  $Iv$  的权重，我们采用指数函数，因为其快速增长特性可以帮助我们在同等  $Gv$  条件下扩大较小  $Iv$  的优势。

第三部分是旁瓣的大小，即除了目标（10°, 5°）之外其余坐标中最大的点的功率值，我们给其分配一个负幂指数，使得其越小对于整体的函数值贡献却越大。

### 4.3 适应度模型 2——区域覆盖效用评价模型

为了量化遗传算法的适应值函数，我们再次构建模型，考虑区域每个配置方式下对指定区域的平均功率、凹坑和天线关闭个数进行量化计算。

水平  $(-30^\circ, +30^\circ)$ ，竖直  $(-15^\circ, +15^\circ)$  区域共 91 个点的平均合成功率  $M$  为：

$$M = \frac{\sum W_i}{91}$$

凹坑  $D$  的计算公式为：

$$D = \text{Max}(W_i) - \text{Min}(W_j)$$

则可以得出适应度的计算方法为：

$$Ov = \underbrace{e^{-\frac{D}{a}}}_{\text{D-weight}} \times \underbrace{(C + \sigma)}_{\text{C-weight}} \times \underbrace{\frac{1}{1 + e^{-(M-d)f}}}_{\text{M-weight}}$$

其中  $a, \sigma, c, d, f$  分别是该模型中凹坑、关闭波束数量、区域平均功率强度的权重参数。

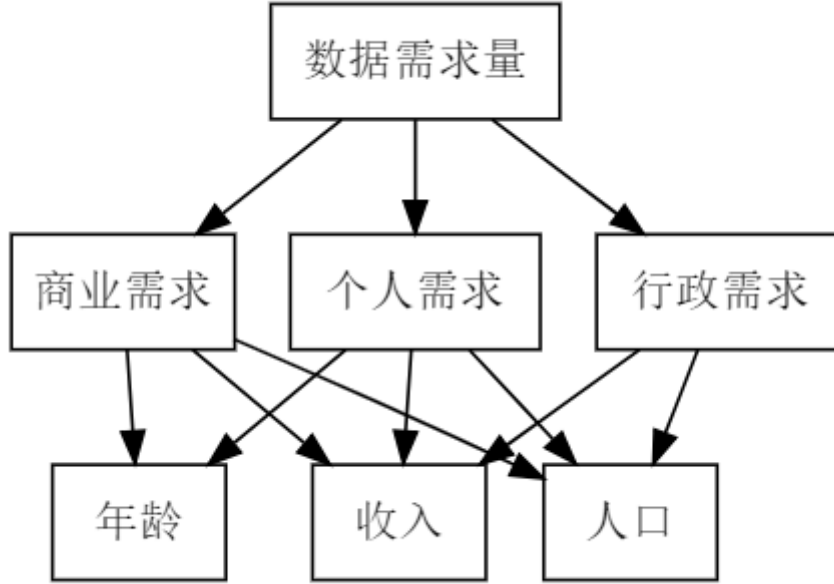
模型的构建分为三部分：

第一部分是凹坑的权重配置，我们用指数函数来最小化凹坑的值。

第二部分是关闭天线个数的权重，在这种情况下采用线性的函数来调整其权重，使得其值的变化有影响但是不是特别重要。

第三部分也是采用 *sigmol* 函数来配重，再次利用了其优良的陡增特性，起到很好的筛选作用。

#### 4.4 数据需求模型



图片 1: 数据需求层次结构

为了判断各个影响因素对一座城市的数据需求量的影响权重，建立层次结构模型，如图片 1。

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  $CI_{C-O} = 0.0268$

(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

## 4.5 城市评分模型

### 4.5.1 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

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

#### 4.5.2 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

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

#### 4.5.3 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

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

## 4.6 蚁群算法模型

1. 根据每两个城市之间的距离  $u_{ij}$  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

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

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  $P_i$

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

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

## 4.7 最小生成树模型

1. 最小生成树 (Kruskal) 模型建立
  - (a) 数据初始化：构建邻接矩阵来表示各城市之间经过距离和需求匹配后边权
  - (b) 排序：将每两个顶点之间的边权  $u_i$  按照从小到大的顺序排列，并记录每条边  $u_i$  所连接的两点  $v_k$  和  $v_m$

- (c) 选边：按照排序出来的结果从小到大选边  $u_i$  并记录所连接的两点  $v_p$  和  $v_q$ ，当且仅当以下三种情况出现停止选边或者跳过该条边：
- 若新加入的这条边  $e$  可以和原来的树  $T'$  形成连通块，则跳过该条边
  - 若无边可选，且所记录已连接的顶点不是全部顶点数量，则退出，不能构建最小生成树
  - 若所选顶点数量已经达到全部顶点数量，则退出，最小生成树  $T$  已构建
- (d) 构建树：假如可以形成一颗树，那么就必然为一棵最小生成树  $T$ ，并将其在地图上投影出来，以供后续模型比较，在这里不对 *Kruskal* 算法进行证明。

## 2. 城市边权模型的建立

- (a) 数据初始化：输入城市距离的邻接矩阵  $G_1(u, v)$  与各个城市的数据需求量矩阵  $G_2$

$$G_1 = \begin{bmatrix} 0 & u_{12} & u_{13} & \dots & u_{1k} \\ u_{21} & 0 & u_{23} & \dots & u_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{k1} & u_{k2} & u_{k3} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$$G_2 = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \dots \quad N_k]$$

- (b) 边权配重：对于任意两点  $v_p, v_q$  我们取出其距离  $u_i$ ，两个城市的需求  $N_p, N_q$ ，则新的边权  $u'_i$  为

$$u'_i = \frac{u_i}{N_p + N_q}$$

随着边两点的需求之和越大，则此边权越小；同理，当两点间距离越大时，此边权亦越小。特别的，当某两点的距离超过 200km 时，我们将  $u'_i$  置为-1，使其不被考虑，因为所铺设的线路最远只能到 200km。

至此，我们可以得到新的边权图  $G_0(u', v)$ :

$$G_0 = \begin{bmatrix} 0 & u'_{12} & u'_{13} & \dots & u'_{1k} \\ u'_{21} & 0 & u'_{23} & \dots & u'_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u'_{k1} & u'_{k2} & u'_{k3} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

#### 4.8 网络传输格式选型评价模型

确定了线路部署方案后，由于广东省布置骨干网需要 21 条线路，分析附件给出的传输容量与价格关系表可知，选用线路容量为  $800Gb/s$  的性价比最高选用  $400Gb/s$  的最低，但我们只能在不同传输格式下最长传输距离的限制下挑选尽可能性价比高的传输格式，对于我们已经构建的网络，将  $80km$  以内的线路全部选用线路容量为  $800Gb/s$ ， $80km - 100km$  距离的线路选用线路容量为  $600Gb/s$ ， $200km$  以内距离的线路选用线路容量为  $400Gb/s$  是同等传输容量下线路成本最低的选择。

$$l_i = \begin{cases} 800 & (d_i \leq 80) \\ 600 & (80 < d_i \leq 100) \\ 400 & (100 < d_i \leq 200) \end{cases}$$

每条路径网络流量容量向量

$$C = L \cdot K$$

建设网络所需成本

$$Cost = \sum_{i=1}^{21} k_i \frac{\frac{l_i}{100} + 4}{8}$$

网络对全省网络需求的满足率

$$W = \frac{f_K}{Req} \times 100\%$$

网络传输格式选型评价函数

$$G(K) = \begin{cases} Cost & (W = 100\%) \\ inf & (W \neq 100\%) \end{cases}$$

骨干网问题 1 的目标则是取得  $G(K)$  的最小值。其中，对  $W$  的计算使用了最大流算法，步骤如下

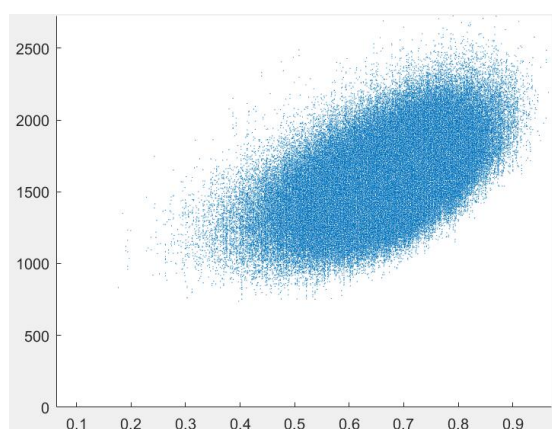
1. 设置一个超级汇点，除广州外的每个城市都与超级汇相连，且与超级汇点存在一条由该城市出发流入超级汇，容量为该城市需求量的路径，超级汇点编号为 20。
2. 通过  $K$  初始化残余网络。
3. 在网络中寻找增广路并更新残余网络，增加流量。
4. 重复步骤 3，直到无增广路，得到的流量  $f_K$  除以  $Req$  即得到  $W$ 。

由于该问题的搜索空间达到  $21^{80}$  非常庞大，所以我们选择遗传算法解决这一问题，遗传算法计算流程已经在解决微波问题的过程中详细阐述，这里不再赘述。只重点介绍上文中“网络传输格式选型评价模型”如何运用在遗传算法中。我们尝试将上文中的评价函数直接取倒数采用遗传算法找到它的最大值但是效果并不佳，因为上文评价函数筛选掉了太多只需少许变异就能使  $W$  达到 100% 的个体，对此，我们采用优化后的评价函数做为遗传算法的适应度函数：

$$G_0(K) = \frac{e^{c_1 W}}{e^{c_2 Cost}};$$

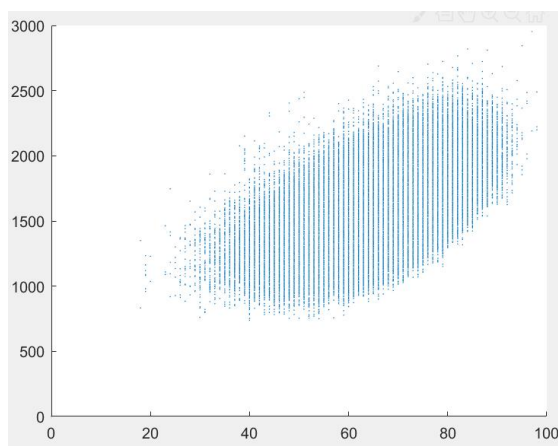
#### 4.9 网络传输性价比模型

定义性价比评价函数  $E(K) = \frac{W}{Cost}$  选择性的接入网络时，使网络的覆盖率尽可能高，成本尽可能低，整个网络的性价比才能尽可能地更高。为了寻找函数  $E(K)$  的最大值点，首先，为了把握成本与覆盖率之间的关系，我们随机了 400000 条成本关于覆盖率的数据，如图：



图片 2: 覆盖率与成本

观察图像的下边缘不难发现，图像的斜率是越来越大的，这说明覆盖最后的百分之几的人口所需的成本很高，对运营商来说并不划算。为了找到  $E(K)$  的最大值点，我们可以把两个目标逐个击破，先找在同一覆盖率下所需成本最低的点，然后再在这些点之间寻找  $E(K)$  最大的点。但是由于样本空间实在太太大，我们所能取得的数据仅仅是极少数的情况，样本中的偶然性很大。为了尽可能消除这种偶然性，我们首先对覆盖率四舍五入至整数，如图：



图片 3: 覆盖率与成本（取整）

我们可以从这些数据中找到相同覆盖率下成本最低的点进行回归分析，得到网络覆盖率  $W$  关于最低成本的关系。在这里我们采用三次多项式对数据进行拟合，得到最低成本和覆盖率的近似方程，代入性价比函数即可求最大值。



## 5 问题求解

### 5.1 微波问题

#### 5.1.1 遗传算法构建

1. 设定初始数据：种群大小  $S$ ，繁殖代数  $N$ ，染色体长度  $l$  为 32，每一个碱基  $k_i$  有五种，分别代表第  $i$  个天线的五种相位配置方式，交叉概率  $Pc$ ，变异概率  $Pm$ 。

$$x = [k_1 k_2 \dots k_{32}] \quad (k_i = 0, 1, 2, 3, 4)$$

$$S = [x_1 x_2 \dots x_n]^T$$

2. 计算单个个体的适应值  $ov$ ：  
不同的问题有不同的适应值计算公式，根据适应值表示该个体在整个种群中的竞争地位。
3. 选择阶段：  
采用轮盘赌法，选出新的  $S$  个优势个体。
4. 交叉阶段：  
采用单点交叉的交叉算子，对染色体部分碱基进行大范围交换
5. 变异阶段：  
采用单点变异，对染色体单个碱基进行更改操作
6. 重复第 2 步至第 5 步，输出最优的染色体编码，并将其转化为波束的矢量配置方式

#### 5.1.2 微波问题 1

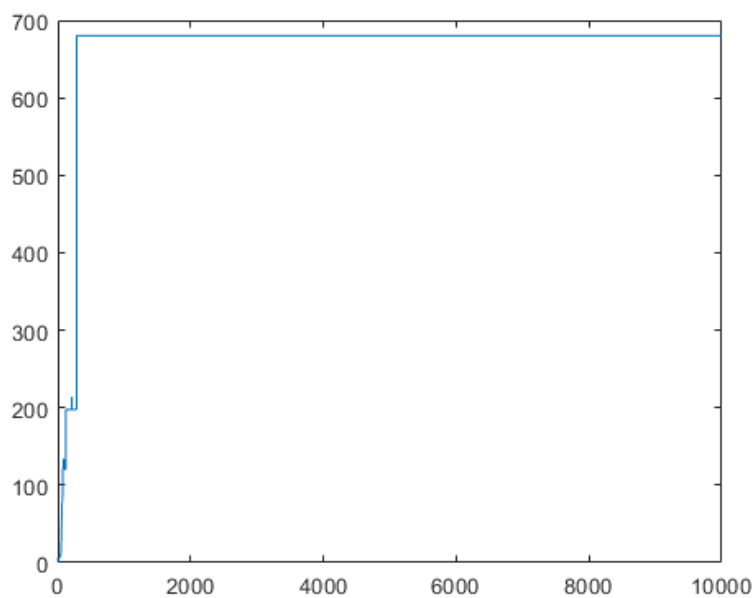
使用 4.2-波束配置方式效用评价模型做为遗传算法中第 2 步的适应值，选取的参数为：

- $a = 35.5$
- $b = 15$
- $c = 20$
- $d = 20$
- $f = 10$
- $\mu = 1$

得到适应度函数：

$$Ov = \frac{1}{1 + e^{-15 \cdot (Gv - 35.5)}} \times 20 \cdot e^{\left(\frac{20 - Iv}{10}\right)} \times K^{-1}$$

运行遗传算法程序，随着迭代的次数增加，可以观察到适应度最后收敛于一稳定值：



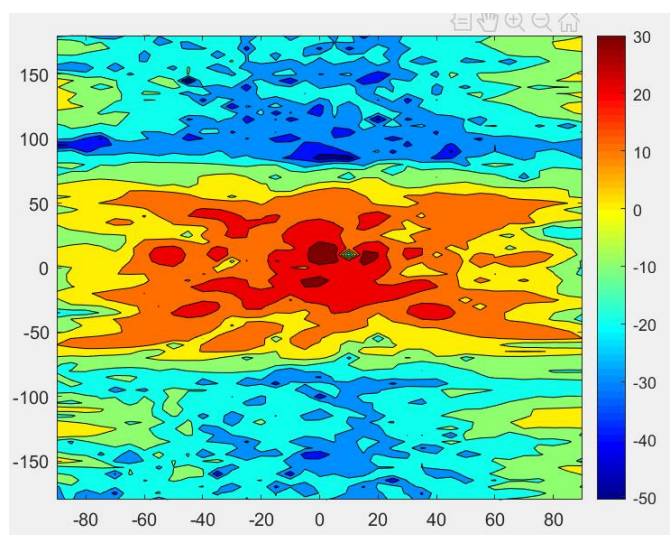
图片 4: 微波问题 1——适应度随迭代次数变化

得出波束最优矢量配置方式为：

表 1: 微波问题 1——最优配置方式

天线编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
配置方式	90°	0°	180°	关闭	关闭	90°	90°	0°	270°	180°	180°
天线编号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
配置方式	0°	0°	关闭	180°	270°	90°	90°	270°	关闭	180°	90°
天线编号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
配置方式	180°	180°	270°	270°	90°	90°	90°	0°	180°	90°	

根据波束矢量配置方式，画出合成功率的高线图



图片 5: 微波问题 1——合成功率等高线图

在该配置方式下：

1.  $AZ=10^\circ, EL=5^\circ$  处，合成功率  $36.05dBm$
2.  $AZ=10^\circ, EL=10^\circ$  处，合成功率  $-19.94dBm$
3. 旁瓣合成功率为  $23dBm$

### 5.1.3 微波问题 2

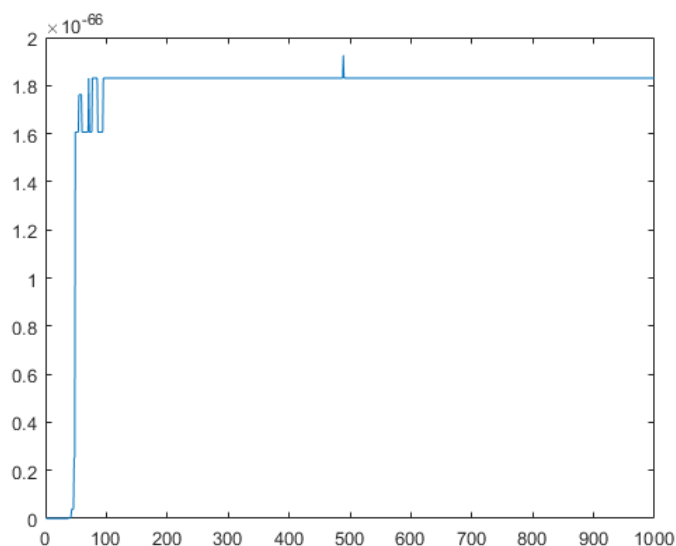
使用 4.3-区域覆盖效用评价模型做为遗传算法中第 2 步的适应值，选取的参数为：

- $a = 10$
- $\sigma = 1$
- $d = 35.5$
- $f = 20$

得到适应度函数：

$$Ov = e^{-\frac{D}{10}} \times (C + 1) \times \frac{1}{1 + e^{-20 \cdot (M - 35.5)}}$$

运行遗传算法程序，随着迭代的次数增加，可以观察到适应度收敛于一稳定值：



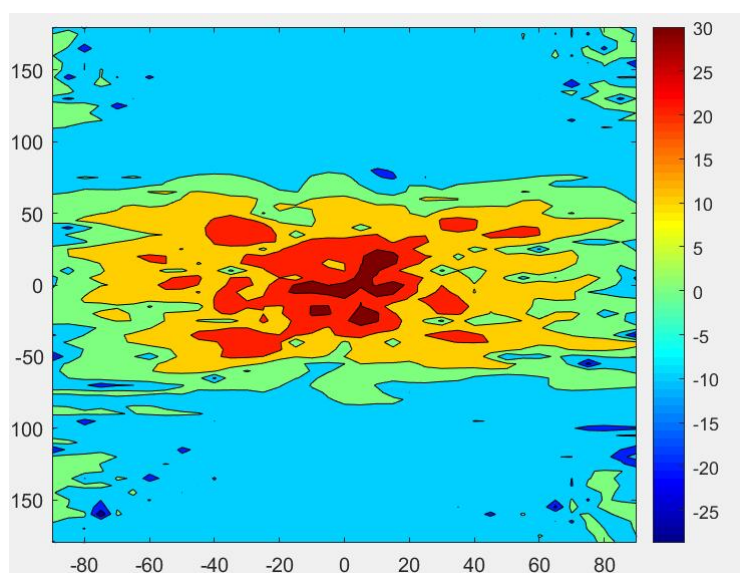
图片 6: 微波问题 2——适应度随迭代次数变化

选择图中的适应度最大值点，波束最优矢量配置方式为：

表 2: 微波问题 2——最优配置方式

天线编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
配置方式	0°	90°	180°	180°	90°	180°	0°	270°	0°	180°	90°
天线编号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
配置方式	270°	0°	0°	0°	0°	180°	270°	90°	关闭	0°	180°
天线编号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
配置方式	0°	0°	0°	90°	0°	180°	270°	180°	0°	90°	

根据波束矢量配置方式，画出合成功率率的等高线图



图片 7: 微波问题 2——合成功率率等高线图

该配置方式下平均功率 28dBm, 凹坑 23dBm, 关闭波束 1 个

## 5.2 骨干网问题 1

### 5.2.1 各城市数据需求量评估

由文献 [2] 至 [6], 对 2028 年广东省总数据需求量进行回归分析

$$x = [2013 \ 2014 \ 2015 \ 2016 \ 2017 \ 2018 \ 2019]$$

$$y = [0.1 \ 0.17 \ 0.33 \ 0.79 \ 1.8 \ 3.7 \ 7.3]$$

得到回归方程

$$y = 0.0003915 \times (x - 2011)^{5.512}$$

代入  $x = 2028$ , 得到人均月流量  $3249.33GB$ 。

广东省人口为 1.2 亿, 由此估计得 2028 年全省总数据需求量为  $150.4TB/s$ 。

对广东省各城市人口、平均年龄、人均可支配收入<sup>[1]</sup>, 根据 4.5—城市评分模型进行评分, 并根据 4.4—数据需求模型评价各个城市的需求总分 (见表 3), 以所有城市的需求总分之和作为广东省全省的需求总分, 并以回归分析所得的 2028 年全省总数据需求量为标准, 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。

表 3: 各城市数据需求评估 (数据来自 [1])

1	$C_k$	$Y_k$	$x_{k1}$	$I_k$	$x_{k2}$	$P_k$	$x_{k3}$	$x_k$	$N_k$ (TB/s)
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

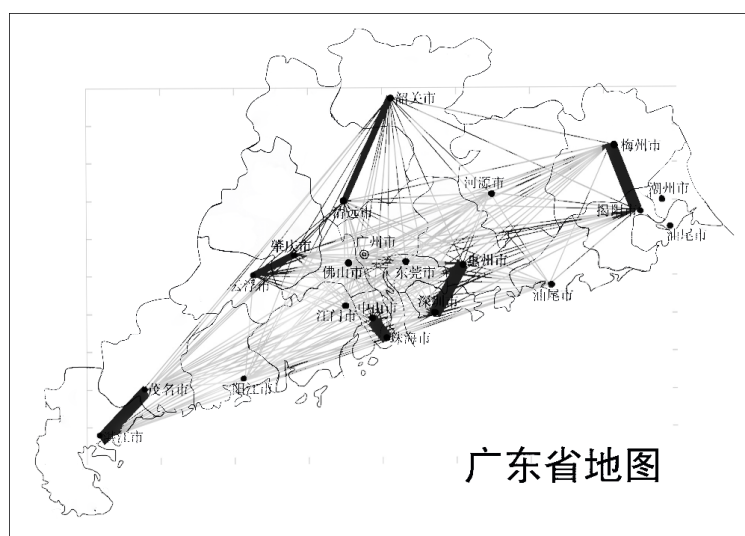
### 5.2.2 线路部署的设计

借助 5.2.1 中获取的各城市数据需求量：

1. 使用 4.6: 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 8: 蚁群算法方案

我们决定以这些边为基础创建网络。

2. 使用 4.7: 最小生成树模型，代入的数据有：

- 城市距离的邻接矩阵  $G_1(u, v)$ ：



表 4: 城市距离邻接矩阵

城市编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	19	50	62	64	74	80	98	106	115	128	-1	162	196	-1	-1	-1	-1	-1
2	19	0	66	49	71	68	65	95	114	131	110	-1	181	178	-1	-1	-1	-1	-1
3	50	66	0	86	98	76	130	90	67	66	176	-1	124	-1	-1	-1	167	-1	-1
4	62	49	86	0	119	34	84	60	103	144	111	-1	-1	142	-1	-1	-1	-1	-1
5	64	71	98	119	0	137	84	162	164	153	134	129	168	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	74	68	76	34	137	0	116	27	73	122	145	-1	197	161	-1	-1	-1	-1	-1
7	80	65	130	84	84	116	0	143	176	195	51	-1	-1	152	-1	-1	-1	-1	-1
8	98	95	90	60	162	27	143	0	62	122	169	-1	-1	170	-1	-1	197	-1	-1
9	106	114	67	103	164	73	176	62	0	65	-1	-1	150	-1	-1	-1	136	-1	-1
10	115	131	66	144	153	122	195	122	65	0	-1	-1	86	-1	-1	-1	102	-1	-1
11	128	110	176	111	134	145	51	169	-1	-1	0	-1	-1	119	-1	-1	-1	-1	-1
12	-1	-1	-1	-1	129	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13	162	181	124	-1	168	197	-1	-1	150	86	-1	-1	0	-1	-1	-1	124	-1	148
14	196	178	-1	142	-1	161	152	170	-1	-1	119	-1	-1	0	-1	114	-1	-1	-1
15	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	76	-1	-1	-1
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	114	76	0	-1	-1	-1
17	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	102	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	131	173
18	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	131	0	80
19	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	148	-1	-1	-1	173	80	0

- 城市需求矩阵  $G_2$ :

表 5: 城市需求矩阵

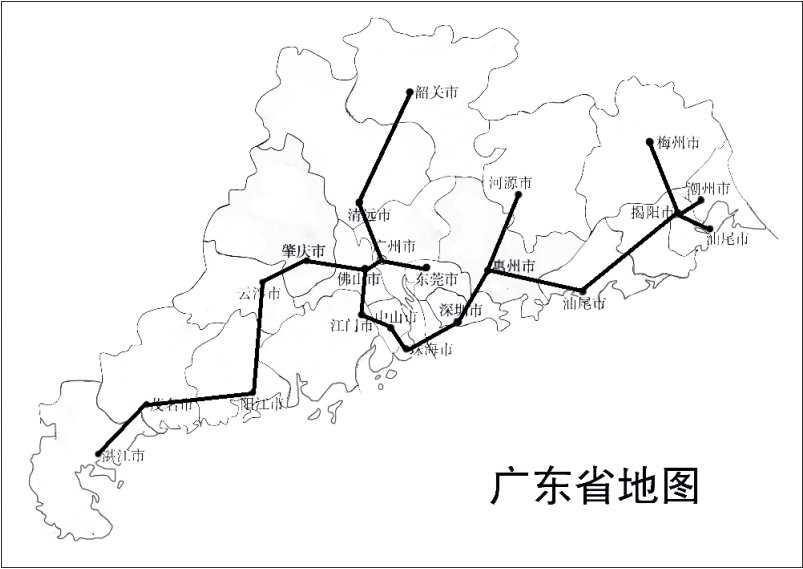
城市	广州	佛山	东莞	江门	清远	中山	肇庆	珠海	深圳	惠州
需求 ( $TB/s$ )	15.24	10.01	10.48	6.59	5.51	6.63	5.95	5.67	14.05	7.13
城市	云浮	韶关	河源	阳江	湛江	茂名	汕尾	潮汕	梅州	
需求 ( $TB/s$ )	4.35	4.99	4.76	4.69	7.96	7.28	4.86	18.47	5.78	

- 城市距离与需求加权邻接矩阵  $G_0(u', v)$ :

表 6: 城市距离与需求加权邻接矩阵

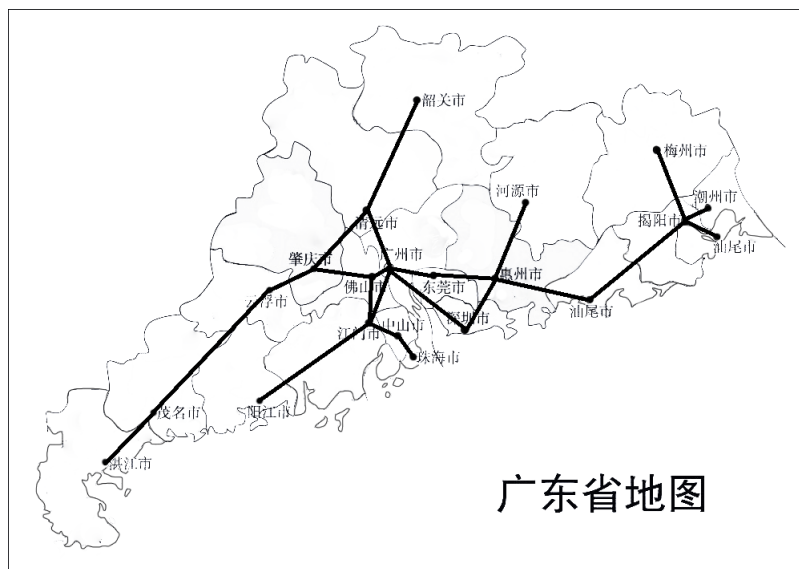
-1	8.666	3.380	2.304	2.125	1.943	1.739	1.396	1.815	1.273	1.004	0.735	0.809	0.667	-1	-1	-1	-1	-1
8.666	-1	2.051	2.237	1.438	1.600	1.621	1.086	1.391	0.859	0.853	0.507	0.535	0.543	-1	-1	-1	-1	-1
3.380	2.051	-1	1.296	1.070	1.472	0.832	1.184	2.387	1.763	0.553	0.545	0.806	-1	-1	-1	0.689	-1	-1
2.304	2.237	1.296	-1	0.666	2.561	0.984	1.351	1.312	0.627	0.644	-1	-1	0.520	-1	-1	-1	-1	-1
2.125	1.438	1.070	0.666	-1	0.580	0.892	0.452	0.783	0.541	0.483	0.535	0.401	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1.943	1.600	1.472	2.561	0.580	-1	0.711	2.965	1.869	0.740	0.497	-1	0.379	0.460	-1	-1	-1	-1	-1
1.739	1.621	0.832	0.984	0.892	0.711	-1	0.534	0.748	0.440	1.316	-1	-1	0.459	-1	-1	-1	-1	-1
1.396	1.086	1.184	1.351	0.452	2.965	0.534	-1	2.087	0.692	0.389	-1	-1	0.400	-1	-1	0.425	-1	-1
1.815	1.391	2.387	1.312	0.783	1.869	0.748	2.087	-1	2.146	-1	-1	0.821	-1	-1	-1	1.020	-1	-1
1.273	0.859	1.763	0.627	0.541	0.740	0.440	0.692	2.146	-1	-1	-1	0.908	-1	-1	-1	0.910	-1	-1
1.004	0.853	0.553	0.644	0.483	0.497	1.316	0.389	-1	-1	-1	-1	-1	0.499	-1	0.427	-1	-1	-1
0.735	0.507	0.545	-1	0.535	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.405	-1	-1	-1	-1	-1	-1
0.809	0.535	0.806	-1	0.401	0.379	-1	-1	0.821	0.908	-1	0.405	-1	-1	-1	-1	0.624	0.815	0.464
0.667	0.543	-1	0.520	-1	0.460	0.459	0.400	-1	-1	0.499	-1	-1	-1	0.464	0.691	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.464	-1	1.309	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.427	-1	-1	0.691	1.309	-1	-1	-1	-1
-1	-1	0.689	-1	-1	-1	-1	0.425	1.020	0.910	-1	-1	0.624	-1	-1	-1	-1	1.175	0.486
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.815	-1	-1	-1	1.175	-1	1.800
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.464	-1	-1	-1	0.486	1.800	-1

经过程序计算，得到：



图片 9: 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,综合两个模型考虑,我们剔除了珠海到深圳横跨珠江的不符合现实的线路,在江门到佛山,肇庆到清远,深圳到惠州之间加入了网络线路,期望平衡网络流量的负载。最终确定了线路部署方案:



图片 10: 线路部署方案

### 5.2.3 线路类型及光纤数

使用 4.8—网络传输格式选型评价模型，其中的城市编号与路径编号为：

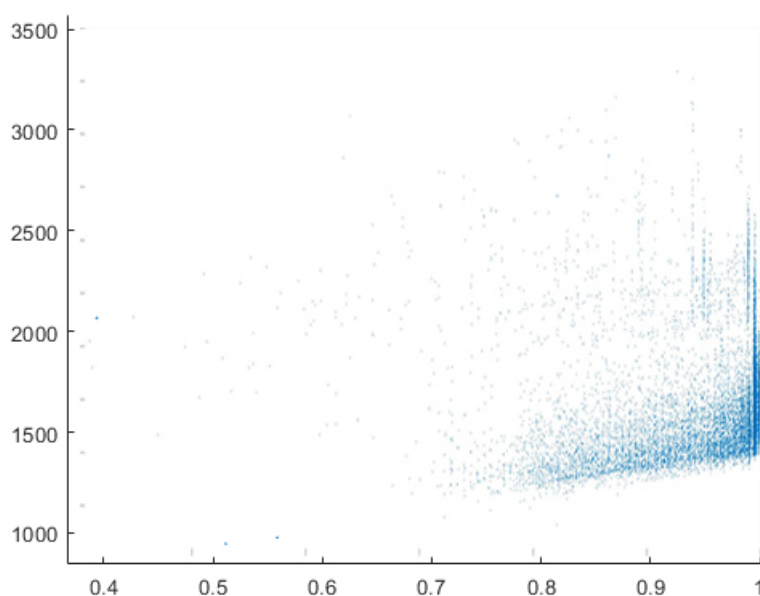
表 7: 城市编号

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
广州	佛山	东莞	江门	清远	中山	肇庆	珠海
<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
深圳	惠州	云浮	韶关	河源	阳江	湛江	茂名
<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>					
汕尾	潮汕三市	梅州					

表 8: 路径编号

编号	1	2	3	4	5	6	7
端点	广州	广州	广州	佛山	广州	江门	佛山
端点	佛山	东莞	江门	江门	清远	中山	肇庆
距离	19.1	49.9	62.2	48.7	64	33.9	64.6
编号	8	9	10	11	12	13	14
端点	肇庆	中山	广州	惠州	惠州	肇庆	清远
端点	清远	珠海	深圳	东莞	深圳	云浮	韶关
距离	84.3	27.4	106	65.6	64.8	51.4	128.7
编号	15	16	17	18	19	20	21
端点	惠州	江门	云浮	湛江	惠州	汕尾	揭阳
端点	河源	阳江	茂名	茂名	汕尾	揭阳	梅州
距离	85.9	142.1	179	76.4	102	130.5	80.6

由此可以得到网络传输格式设置向量。运行遗传算法程序，采用的新适应度函数保留了大部分条件十分接近目标的值，如图



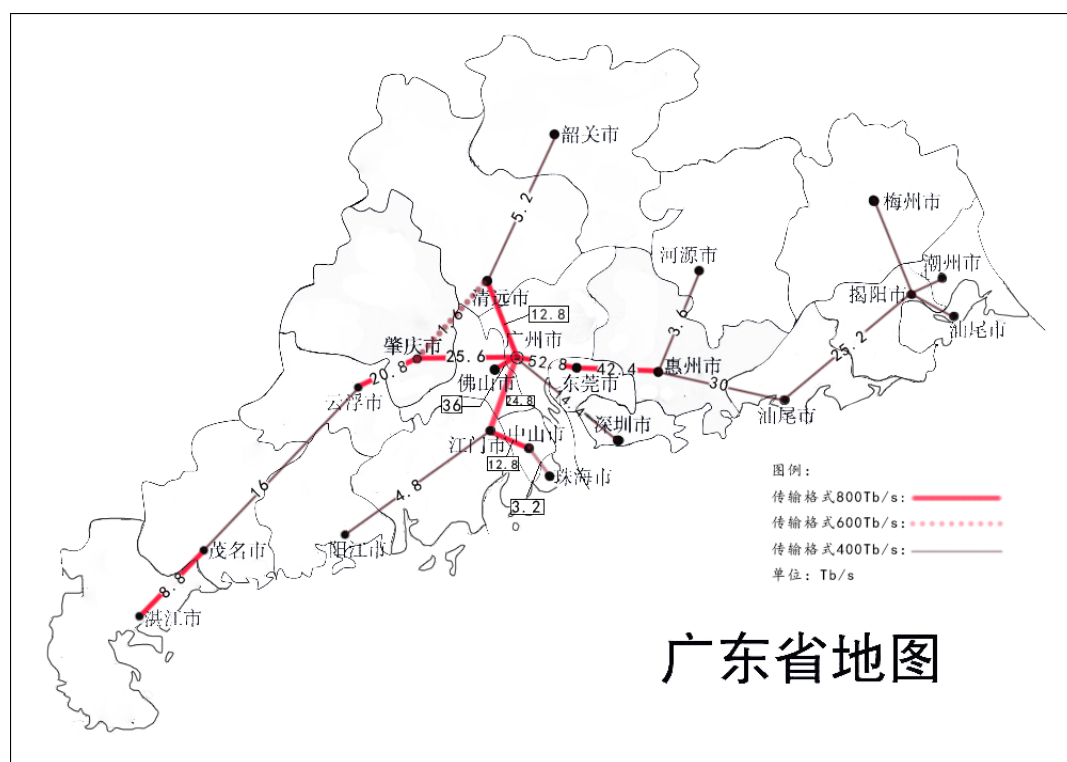
图片 11: 覆盖率与成本

我们选取其中最优点  $K_m$ ，观察这个配置方式经过最大流算法计算后的残余网络发现，网路的流量没有从路径 12 和路径 4 走，于是我们改进了由网络构建模型的到了网络构建图，删除了这两条路径。继续观察残余网络发现网络的配置仍然有冗余，在减少冗余配置之后，得到有着最低成本  $Cost_{min} = 1439.5X$  的最优结果

表 9: 骨干网问题 1——最终网络部署方案

线路编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
线路容量 GB/s	36000	52800	24800	0	12000	12800	25600	1200	6400	14400	42400
线路编号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
线路容量 GB/s	0	20800	5200	5400	4800	16000	8800	30000	25200	6000	

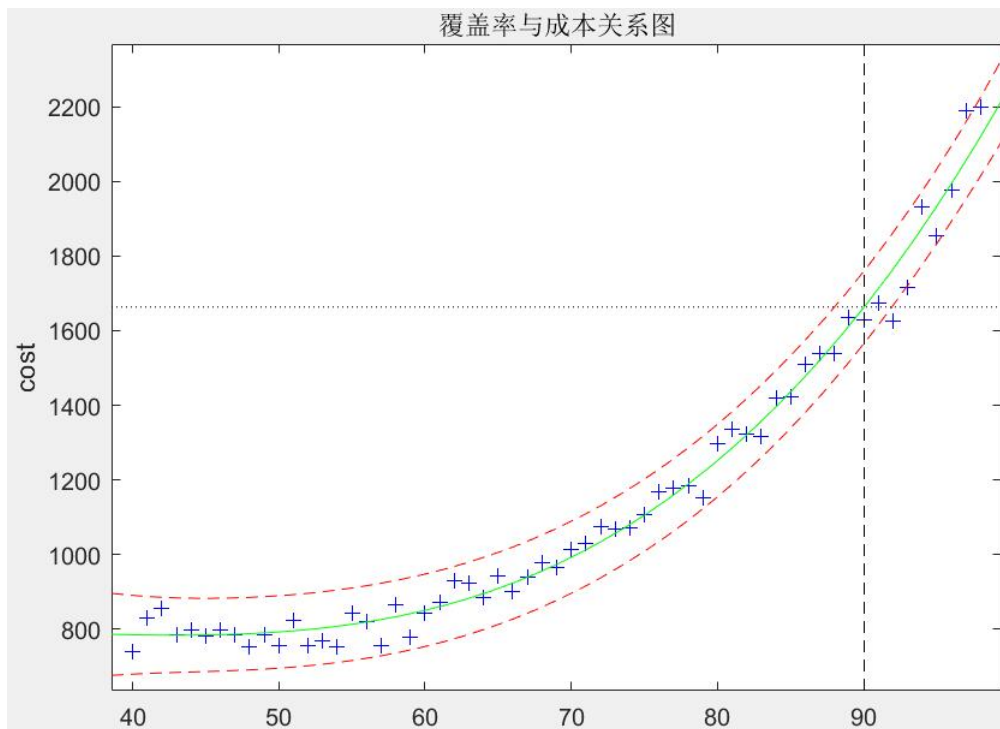
即：



图片 12: 骨干网问题 1——最终网络部署方案

### 5.3 骨干网问题 2

如 4.9—网络传输性价比模型所说，对数据进行回归分析：



图片 13: 覆盖率与成本关系图

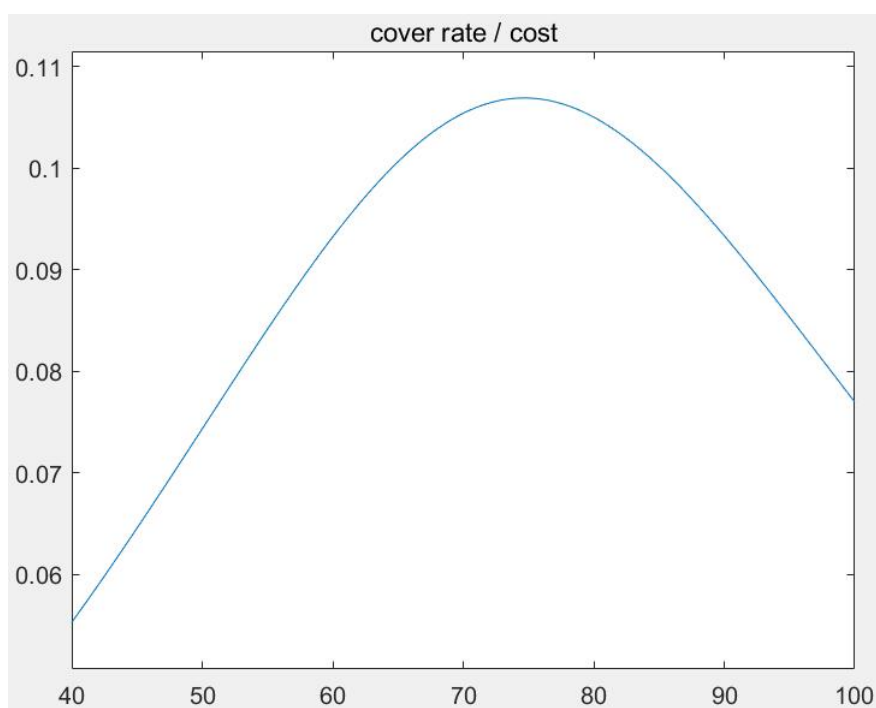
得到三次多项式拟合方程

$$Cost_{min} = 0.0046W^3 - 0.5804W^2 + 19.0888W + 594.1596$$

则

$$E(K) = \frac{W}{Cost_{min}} = \frac{1}{0.0046W^2 - 0.5804W + 19.0888 + \frac{594.1596}{W}}$$

$E(k)$  的图像为：

图片 14:  $E(k)$ 

取得最大点时候  $W = 75$   $E(K) = 0.1069$ ，网络部署方案为

表 10: 骨干网问题 2——最终网络部署方案

线路编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
线路容量 Gb/s	19200	16000	24000	1600	16000	17600	11200	16800	4000	31200	15200
线路编号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
线路容量 Gb/s	13600	24800	800	4800	6000	12800	7200	19600	2000	3600	

该种网络选型方式下网络的性价比最高

## 6 模型的评价

### 6.1 模型的优点

1. 微波问题和骨干网问题都运用了遗传算法，遗传算法正适合解决这样搜索空间非常庞大的问题。
2. 骨干网络的构建采用多种方法结合考虑，使结果更可靠。

### 6.2 模型的缺点

1. 遗传算法的交叉步骤，采用的是单点交叉，所以在遗传的过程中有可能会丢失当前的优势碱基序列。
2. 波束配置方式效用评价模型和区域覆盖效用评价模型的构建还不理想导致遗传算法的收敛速度不够快，得出结果的好坏也不稳定。
3. 进行数据回归分析时，选取的拟合函数具有一定的主观性。
4. 在运用层次分析法进行城市需求量评估时候，评估的尺度存在一定的主观性。
5. 网络流模型中，我们选择先构建网络再选择线路的容量，没有对两个方法的综合考虑。
6. 采用多种方式结合建模时，没有仔细考虑两种方式对应的权重，主观性较大。

### 6.3 模型的推广

1. 微波问题中模型不仅适用于有 32 个波束的相控阵天线，对任意个波束的相控阵天线或相控阵雷达以及其他阵列信号的处理仍然适用
2. 骨干网问题中的模型不仅仅适用于广东省骨干网络建设，对于其他省份的骨干网络以及城市之内的地区网等中小规模的网络建设也具有指导意义。



## 7 模型的改进

1. 针对遗传算法中优良个体容易被变异破坏的问题，可以动态选择遗传概率，在只有极少数优良个体时候应该防止优良个体变异，而当整个种群集体差异度较小时可以选择较高的变异机率使防止种群在局部最优解中停滞。
2. 微波问题中我们选取单个方向代替正负 2.5 度的空间范围，这个估计比较粗糙，可以采用适当的插值法填补空隙，使得模型的精度更高。
3. 在骨干网问题中同时考虑如何构建网络 and 选择线路的格式和容量，更加整体的考虑广东省骨干网的规划。

## 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
- [7] Gallager R G, Humblet P A, Spira P M. A distributed algorithm for minimum-weight spanning trees[J]. ACM Transactions on Programming Languages and systems (TOPLAS), 1983, 5(1): 66-77.
- [8] Davis L. Handbook of genetic algorithms[J]. 1991.
- [9] 曾建军、李世航、王永国、叶仁玉、MATLAB 语言与数学建模, 安徽: 安徽大学出版社, 2005.
- [10] 房少梅, 数学建模理论、方法及应用, 北京: 科学出版社, 2014.

# 附录

## A 遗传算法模型——微波问题一 Matlab 代码

```

function main()
init();
process=zeros(1,50000);%统计遗传算法的进步过程
x=(1:50000);
generation=10000;
popsize = 100; %种群大小
chromlenth = 32; %染色体长度
pc = 0.7; %交叉概率
pm = 0.3; %变异概率
pop = initpop(popsize, chromlenth); %染色体处理
for i = 1:generation
    if(mod(i,500)==0)
        fp=fopen([strrep(datestr(datetime),' ','-'),'.txt'],'a');
        fprintf(fp,'i=%d\n',i);
        for k = 1:100
            fprintf(fp,'%d\n',pop(k,:));
            fprintf(fp,'\n');
            fprintf(fp,'%d\n',objvalue(k));
            fprintf(fp,'\n');
        end
        fclose(fp)
    end
    %计算适应度值（函数值）
    objvalue = cal_objvalue(pop);
    fitvalue = objvalue;
    %选择操作
    newpop = selection(pop,fitvalue);
    %交叉操作
    newpop = crossover(newpop,pc);
    %变异操作
    newpop = mutation(newpop,pm);
    %更新种群
    pop = newpop;
    %寻找最优解
    [bestindividual,bestfit] = best(pop,fitvalue);
    process(i)=bestfit;
    display(bestfit);
    display(i);
    figure(3);
    plot(x(1:i),process(1:i))
end
serve = bestindividual;
figure(4);

```

```

    surfdisplay(serve); %生成最优排列的图像
    save txt serve;
    display(serve);
end

function init()
    clear;
    clc;
    clc;
    clear; %清空所有操作
    load raw_data
    global Mag
    global Mag_pow10
    global Phase_raw
    global Phase
    global Phase_cos
    global Phase_sin

    Mag = raw_data.LogMag;
    Mag(find(isnan(Mag))) = -10;
    Mag(find(isinf(Mag))) = -10;
    Mag_pow10 = (10.^(Mag/20));
    Phase_raw = raw_data.Phase;
    Phase_raw(find(isnan(Phase_raw))) = 0;
    Phase_raw(find(isinf(Phase_raw))) = 0;
    Phase = Phase_raw/180*pi;
    Phase(find(isnan(Phase))) = 0;
    Phase(find(isinf(Phase))) = 0;
    Phase_cos = cos(Phase);
    Phase_sin = sin(Phase);
    %LogMag和Phase数据处理，将inf和nan全部变成0;

function pop = initpop(popsz, chromlenth)
pop = round(4*rand(popsz, chromlenth)); %染色体处理
%染色体一共有五种碱基，
%其中0~4代表着关闭/打开0°/打开90°/打开180°/打开270°
end

function objvalue = cal_objvalue(pop)
global Phase_cos
global Phase_sin
global Mag_pow10
interference_AZ=10;%干扰点俯仰角下边
interference_EL=10;%干扰点水平角下标
goal_AZ=10;%目标点俯仰角下标
goal_EL=5;%目标点水平角
goal_index_AZ=(goal_AZ+180)/5+1;%目标点水平角的下标=39
goal_index_EL=(goal_EL+90)/5+1;%目标点俯仰角角的下标=20
interference_index_AZ=(interference_AZ+180) / 5 + 1;
%干扰点水平角下标=39
interference_index_EL=(interference_EL+90) / 5 + 1;

```

```

%干扰点俯仰角下标=21
for j = 1 : 100
    goal_component_cos = 0; %初始化目标值，干扰值
    goal_component_sin = 0;%
    interference_component_cos = 0;
    interference_component_sin= 0;
    goal_value = 0;
    interference_value = 0;

    for i = 1 : 32
        if(pop(j,i) == 0) %假如遇到有关闭的情况就直接跳过
            continue;
        end

        k = pop(j,i); %取出当前的配置方式

        LinM=Mag_pow10(goal_index_AZ,goal_index_EL,i,k);
        LinP=Phase_cos(goal_index_AZ,goal_index_EL,i,k);
        goal_component_cos = goal_component_cos + LinM.*LinM;

        LinM=Mag_pow10(goal_index_AZ,goal_index_EL,i,k);
        LinP=Phase_sin(goal_index_AZ,goal_index_EL,i,k);
        goal_component_sin = goal_component_sin + LinM.*LinP;

        LinM=Mag_pow10(interference_index_AZ,interference_index_EL,i,k);
        LinP=Phase_cos(interference_index_AZ,interference_index_EL,i,k);
        interference_component_cos = interference_component_cos + LinM.*LinP;

        LinM=Mag_pow10(interference_index_AZ,interference_index_EL,i,k);
        LinP=Phase_sin(interference_index_AZ,interference_index_EL,i,k);
        interference_component_sin = interference_component_sin + LinM.*LinP;
    end

    goal_value = (goal_component_cos.^2 + goal_component_sin.^2).^(1/2);

    Linc=interference_component_cos;
    Lins=interference_component_sin;
    interference_value = ( Linc.^2 + Lins.^2 ).^(1/2);

    goal_value = 20 * (log10(goal_value));
    display(interference_value);
    interference_value = 20 * (log10(interference_value));
    %按照dbm和信号幅度的运算公式以及矢量的正交相加减最后求其长度
    display(interference_value);
    display(goal_value);

    %分配权重（重点考虑！！适应度函数很重要，因为这道题有两个变量，
    %如何配置两者的权重就很关键）
    %首先目标波束一定要为35以上，不然其贡献度瞬间下降，用标记统一化实现

    %权重：50/20;
    SIGMOID=1/(1+exp(-(goal_value-35.5)*15));

```

```

objvalue(1,j) = SIGMOID*20*exp((20-interference_value)/10);
%对于特定的第一问的两个位置进行计算;

end

%关于编译
%函数说明
%输入变量: pop: 五进制种群, pm: 变异概率
%输出变量: newpop 变异以后的种群
function [newpop] = mutation(pop,pm)
[px,py] = size(pop); %同 selection
newpop = ones(size(pop));%初始化
for i = 1:px
    if(rand<pm) %触发变异概率
        mpoint = round(rand*py); %随机选取变异的碱基位置
        if mpoint <= 0; %鲁棒性
            mpoint = 1;
        end
        newpop(i,:) = pop(i,:);
        %新加入变异
        k = newpop(i,mpoint); %保存原先的位置碱基种类
        while(k == newpop(i,mpoint))
            %一直更新直到出现和原先位置碱基种类不一样的情况
            k = round(4*rand(1));
        end
        newpop(i,mpoint) = k; %更新当前位置碱基种类
    else newpop(i,:) = pop(i,:); %反之不突变
    end
end

%如何选择新的个体
%输入变量: pop五进制种群, fitvalue: 适应度值
%输出变量: newpop 选择以后的五进制种群
function [newpop] = selection(pop,fitvalue)
%构造轮盘
[px,py] = size(pop); %px是种群大小, py是染色体长度
totalfit = sum(fitvalue); %求和所有目标函数
p_fitvalue = fitvalue/totalfit;
%求出每一个个体求出其在整个种群中的比重
p_fitvalue = cumsum(p_fitvalue);%概率前缀和排序
ms = sort(rand(px,1));%随机选取100个概率数并从小到大排列
fitin = 1; %初始化筛选
newin = 1;
while newin<=px
    if(ms(newin)) < p_fitvalue(fitin)
        %当随机选取的概率数小于当前的个体比重, 即个体占优势, 繁殖
        newpop(newin,:)=pop(fitin,:);
        newin = newin+1;
    else
        fitin=fitin+1; %反之阉割
    end
end

```

end

%求最优适应度函数

%输入变量: *pop*: 种群, *fitvalue*: 种群适应度

%输出变量: *bestindividual*: 最佳个体, *bestfit*: 最佳适应度值

**function** [bestindividual, bestfit] = best(pop, fitvalue)

[px, py] = **size**(pop);

bestindividual = pop(1, :);

bestfit = fitvalue(1);

**for** i = 2:px

**if** fitvalue(i) > bestfit %就是找最大值, 没什么好说的

        bestindividual = pop(i, :);

        bestfit = fitvalue(i);

**end**

end

%交叉变换

%输入变量: *pop*: 五进制的父代种群数, *pc*: 交叉的概率

%输出变量: *newpop*: 交叉后的种群数

**function** [newpop] = crossover(pop, pc)

[px, py] = **size**(pop); %同 *selection*

newpop = **ones**(**size**(pop));

**for** i = 1:2:px-1 %每相邻两个个体就选取

**if** (rand < pc) %触发交叉概率

        cpoint = **round**(rand\*py);

        %标记交叉互换碱基的位置

        newpop(i, :) = [pop(i, 1:cpoint), pop(i+1, cpoint+1:py)];

        %将后面全部换掉

        newpop(i+1, :) = [pop(i+1, 1:cpoint), pop(i, cpoint+1:py)];

**else**

        newpop(i, :) = pop(i, :); %否则继续繁殖

        newpop(i+1, :) = pop(i+1, :);

**end**

end

**function** surfdisplay(serve) %用来打印最优解的三维图

**load** raw\_data

**global** Phase\_cos

**global** Phase\_sin

**global** Mag\_pow10

y1 = raw\_data.AZ(:, 1);

x1 = raw\_data.EL(1, :);

x = **zeros**(73, 37);

y = **zeros**(73, 37);

**for** i = 1 : 32

**if** (serve(i) == 0)

        continue;

**end**

x = x + Mag\_pow10(:, :, i, serve(i)).\*Phase\_cos(:, :, i, serve(i));

y = y + Mag\_pow10(:, :, i, serve(i)).\*Phase\_sin(:, :, i, serve(i));

end

```

field_ans = (x.^2 + y.^2).^(1/2);
field_ans = 20 * (log10(field_ans));
%对于每一个特定的染色体，生成整个图像的值；
surf(x1, y1, field_ans);

```

## B 遗传算法模型——微波问题二 Matlab 代码

```

function main()
init();
process=zeros(1,50000);%统计遗传算法的进步过程
x=(1:50000);
generation=1000;
popsize = 100; %种群大小
chromlenth = 32; %染色体长度
pc = 0.7; %交叉概率
pm = 0.15; %变异概率
pop = initpop(popsize, chromlenth); %染色体处理
for i = 1:generation
    objvalue = cal_objvalue(pop);
    fitvalue = objvalue;
    %选择操作
    newpop = selection(pop, fitvalue);
    %交叉操作
    newpop = crossover(newpop, pc);
    %变异操作
    newpop = mutation(newpop, pm);
    %更新种群
    pop = newpop;
    %寻找最优解
    [bestindividual, bestfit] = best(pop, fitvalue);
    process(i)=bestfit;
    display(bestfit);
    display(i);
    figure(3);
    plot(x(1:i), process(1:i))
end
serve = bestindividual;
save txt serve;
display(serve);

function objvalue = cal_objvalue(pop)
global Phase_cos
global Phase_sin
global Mag_pow10
range_AZ_min_index=(-30+180)/5+1;%范围水平角最小边界
range_AZ_max_index= (30+180)/5+1;%范围水平角最大边界
range_EL_min_index=(-15+90)/5+1;%范围俯仰角最小边界
range_EL_max_index= (15+90)/5+1;%范围俯仰角最大边界

```



```

for j = 1 : 100
    mix_field_average=0;
    mix_field_cos=zeros(360/5+1,180/5+1);
    mix_field_sin=zeros(360/5+1,180/5+1);
    mix_field_value=zeros(360/5+1,180/5+1);
    mix_field_max=-50;
    mix_field_min=99999;
    for i = 1 : 32
        close_count=0;
        if(pop(j,i) == 0) %假如遇到有关闭的情况就直接跳过
            close_count=close_count+1;
            continue;
        end

        k = pop(j,i);

        LinM=Mag_pow10(:, :, i, k);
        Linc=Phase_cos(:, :, i, k);
        Lins=Phase_sin(:, :, i, k);
        mix_field_cos = mix_field_cos + LinM.*Linc;%矢量叠加横轴
        mix_field_sin = mix_field_sin + LinM.*Lins;%矢量叠加纵轴

    end

    mix_field_value = (mix_field_cos.^2 + mix_field_sin.^2).^(1/2);
    %是强度值不是dbm单位
    for az = range_AZ_min_index:range_AZ_max_index
        for el = range_EL_min_index:range_EL_max_index
            if mix_field_value(az,el)>mix_field_max
                mix_field_max=mix_field_value(az,el);
            end
            if mix_field_value(az,el)<mix_field_min
                mix_field_min=mix_field_value(az,el);
            end
            mix_field_average = mix_field_average + mix_field_value(az,el);
        end
    end

    LinAZMA=range_AZ_max_index;
    LinAZMi=range_AZ_min_index;
    LinELMA=range_EL_max_index;
    LinELMi=range_EL_min_index;
    LinAR=mix_field_average;
    mix_field_average=LinAR/(((LinAZMA-LinAZMi)+1)/((LinELMA-LinELMi)+1));
    %mix_field_average=20 * (log10(mix_field_average));%强度值转换为dbm单位
    mix_field_average=20 * (log10(mix_field_average));
    mix_field_diff=20*(log10(mix_field_max)-log10(mix_field_min))
    %display(mix_field_average);
    %display(i)
    display(mix_field_average)
    %按照dbm和信号幅度的运算公式以及矢量的正交相加减最后求其长度

```

```

Dw=1/exp(mix_field_diff/10);
Cw=(close_count+1);
Mw=1/(1+exp(-(mix_field_average-35.5)*20));
objvalue(1,j) = Dw*Cw*Mw;

end

function init()
    clear;
    clc;
    clc;
    clear; %清空所有操作
    load raw_data
    global Mag
    global Mag_pow10
    global Phase_raw
    global Phase
    global Phase_cos
    global Phase_sin

    Mag = raw_data.LogMag;
    Mag(find(isnan(Mag))) = -10;
    Mag(find(isinf(Mag))) = -10;
    Mag_pow10= (10.^(Mag/20));
    %Mag_pow10= (10.^(Mag/20));
    Phase_raw = raw_data.Phase;
    Phase_raw(find(isnan(Phase_raw))) = 0;
    Phase_raw(find(isinf(Phase_raw))) = 0;
    Phase=Phase_raw/180*pi;
    Phase(find(isnan(Phase))) = 0;
    Phase(find(isinf(Phase))) = 0;
    Phase_cos=cos(Phase);
    Phase_sin=sin(Phase); %LogMag和Phase数据处理，将inf和nan全部变成0;

    function pop = initpop(popsz, chromlenth)
    pop = round(4*rand(popsz, chromlenth)); %染色体处理
    %染色体一共有五种碱基，0~4代表着关闭/打开0°/打开90°/打开180°/打开270°
    end

    %关于编译
    %函数说明
    %输入变量：pop：五进制种群，pm：变异概率
    %输出变量：newpop变异以后的种群
    function [newpop] = mutation(pop,pm)
    [px,py] = size(pop); %同selection
    newpop = ones(size(pop));%初始化
    for i = 1:px
        if(rand<pm) %触发变异概率
            mpoint = round(rand*py); %随机选取变异的碱基位置
            if mpoint <= 0; %鲁棒性
                mpoint = 1;
            end
        end
    end
end

```

```

    end
    newpop(i,:) = pop(i,:);
    %新加入变异
    k = newpop(i,mpoint); %保存原先的位置碱基种类
    while(k == newpop(i,mpoint))
    %一直更新直到出现和原先位置碱基种类不一样的情况
        k = round(4*rand(1));
    end
    newpop(i,mpoint) = k; %更新当前位置碱基种类
else newpop(i,:) = pop(i,:); %反之不突变
end
end

%如何选择新的个体
%输入变量: pop五进制种群, fitvalue: 适应度值
%输出变量: newpop选择以后的五进制种群
function [newpop] = selection(pop,fitvalue)
%构造轮盘
[px,py] = size(pop); %px是种群大小, py是染色体长度
totalfit = sum(fitvalue); %求和所有目标函数
p_fitvalue = fitvalue/totalfit; %求出每一个个体求出其在整个种群中的比重
ms = sort(rand(px,1));%随机选取100个概率数并从小到大排列
fitin = 1; %初始化筛选
newin = 1;
while newin<=px
    if(ms(newin)) < p_fitvalue(fitin)
    %当随机选取的概率数小于当前的个体比重, 即个体占优势, 繁殖
        newpop(newin,:)=pop(fitin,:);
        newin = newin+1;
    else
        fitin=fitin+1; %反之阉割
    end
end
end

function surfdisplay(serve) %用来打印最优解的三维图
load raw_data
global Phase_cos
global Phase_sin
global Mag_pow10
y1 = raw_data.AZ(:,1);
x1 = raw_data.EL(1,:);
x = zeros(73, 37);
y = zeros(73, 37);
for i = 1 : 32
    if(serve(i) == 0)
        continue;
    end
    x = x + Mag_pow10(:, :, i, serve(i)).*Phase_cos(:, :, i, serve(i));
    y = y + Mag_pow10(:, :, i, serve(i)).*Phase_sin(:, :, i, serve(i));
end
field_ans = (x.^2 + y.^2).^(1/2);

```

```

field_ans = 20 * (log10(field_ans));
%对于每一个特定的染色体，生成整个图像的值；
surf(x1, y1, field_ans);
figure;
contourf(x1, y1, field_ans);

```

## C 蚁群算法模型 Matlab 代码

```

function main()
init();
dis=calculate_distance();%各个城市距离邻接矩阵，不能到达标记为-1
weight=calculate_weight();%取得每条边的权重(综合距离和信息需求量)
global tau
generations=10;
for i = 1:generations
    pop=creat_pop();%随机返回蚂蚁种群
    tau=ant_move(pop,weight,tau);%蚂蚁移动，并且更新信息素矩阵
    clf;
    map_display(tau);
    pause(1);
end
map_display(tau);

function tau=ant_move(pop,weight,tau)
global tau_increase %信息素增加强度系数?
global ant_num
global ant_steps
global city_num
global tau_factor %表征信息素重要程度的参数??
global tau_decline;%信息素蒸发系数?
global power_factor %表征启发式因子重要程度的参数??
ant_steps=10;
for i = 1:ant_steps
    for j=1:ant_num
        point=pop(j);
        if point ~= 1
            p_value=zeros(1,city_num);
            for k= 1:city_num
                if weight(point,k)~= -1
                    p_value(k)=tau(point,k)^tau_factor*weight(point,k)^power_factor;
                end
            end
            total_value=sum(p_value);
            p_value=p_value/total_value;
            p_value=cumsum(p_value)
            t=rand();
            for k = 1:city_num
                if t <= p_value(k)

```

```

        disp(t);
        disp(k);
        tau(point,k)=tau(point,k)+tau_increase;
        tau(k,point)=tau(k,point)+tau_increase;
        pop(j)=k;
        break;
    end
end
end
end
tau=tau*(1-tau_decline);%一轮走完，信息素挥发
pause(0.5);
end

function [dis]=calculate_distance()
global city_x
global city_y
global normalization_factor%将像素差距转换为km的要乘以的系数
dis=zeros(length(city_x),length(city_y));
for i = 1:length(city_x)
    for j = 1:length(city_y)
        Linfa=normalization_factor;
        dis(i,j)=((city_x(i)-city_x(j))^2+(city_y(i)-city_y(j))^2)^(1/2)*Linfa;
        if (dis(i,j)>=200 || dis(i,j)==0)
            dis(i,j)=-1;
        end
    end
end
end

function weight=calculate_weight()
dis=calculate_distance();
req=get_requirement();
weight=1./dis;
[r,c]=size(dis);
for i =1:r
    for j=1:c
        if weight(i,j)~= -1
            weight(i,j)=weight(i,j)*(req(i)+req(j));
        end
    end
end
end

function pop=creat_pop()
global city_num
global ant_num
ant_num=100;
pop=zeros(1,ant_num);
for i = 1:ant_num
    pop(i)=unidrnd(city_num);
end
end

```

```

function req=get_requirement()
global requirements
req=requirements;

function init()
clear all;
clc;
%计算距离用到的值
global city_num
global city_x
global city_y
global normalization_factor
global requirements
global tau %信息素浓度矩阵
global ant_num %蚂蚁个数
global tau_factor %表征信息素重要程度的参数??
global power_factor %表征启发式因子重要程度的参数??
global tau_decline %信息素蒸发系数??
global tau_increase %信息素增加强度系数?
city_x=[474 455 532 450 449 486 380 506 571 609 326 511 646 314 119 181 726 844 809];
city_y=[322 334 331 391 251 408 322 433 400 334 349 113 240 488 566 501 362 264 176];
city_num=length(city_x);
normalization_factor=0.85079834;
%网络流量需求

requirements=[100.00 65.68 68.78 43.23 36.12 43.53 39.04 37.24 92.21
%LaTeX注: Matlab在这里无换行, 由于单行过长在LaTeX中排版时进行换行处理%
46.82 28.55 32.72 31.20 30.74 52.24 47.80 46.31 107.06 37.94];

%蚁群算法参数?
tau=ones(length(city_x),length(city_y));%信息素浓度矩阵
ant_num=50;%蚂蚁个数??
tau_factor=2;%表征信息素重要程度的参数??
power_factor=1;%表征启发式因子重要程度的参数??
tau_decline=0.3;%信息素蒸发系数??
tau_increase=0.3;%信息素增加强度系数??

function map_display(tau)
global city_x
global city_y
global city_num
for i = 1:city_num
    for j=1:city_num
        t=tau(i,j);
        if(t<1)
            t=1;
        end
        plot([city_x(i) city_x(j)],[city_y(i) city_y(j)], 'k', 'LineWidth', t);
        hold on;
    end
end
end

```

## D 最小生成树算法模型 c++ 代码

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <malloc.h>
#include <string.h>

#define MAX          100                // 矩阵最大容量
#define INF          (~(0x1<<31))        // 最大值 (即0X7FFFFFFF)
#define isLetter(a)  (((a)>='a')&&((a)<='z')) || (((a)>='A')&&((a)<='Z'))
#define LENGTH(a)    (sizeof(a)/sizeof(a[0]))

// 邻接矩阵
typedef struct __graph
{
    char vexs[MAX];        // 顶点集合
    int vexnum;            // 顶点数
    int edgnum;            // 边数
    int matrix[MAX][MAX];  // 邻接矩阵
}Graph, *PGraph;

// 边的结构体
typedef struct __EdgeData
{
    char start; // 边的起点
    char end;   // 边的终点
    int weight; // 边的权重
}EData;

/*
 * 返回ch在matrix矩阵中的位置
 */
static int get_position(Graph G, char ch)
{
    int i;
    for(i=0; i<G.vexnum; i++)
        if(G.vexs[i]==ch)
            return i;
    return -1;
}

/*
 * 读取一个输入字符
 */
static char read_char()
{
    char ch;
```

```

    do {
        ch = getchar();
    } while(!isLetter(ch));

    return ch;
}

/*
 * 创建图 (自己输入)
 */
Graph* create_graph()
{
    char c1, c2;
    int v, e;
    int i, j, weight, p1, p2;
    Graph* pG;

    // 输入 "顶点数"和"边数"
    printf("input vertex number:\n");
    scanf("%d", &v);
    printf("input edge number:\n");
    scanf("%d", &e);
    if ( v < 1 || e < 1 || (e > (v * (v-1))))
    {
        printf("input error: invalid parameters!\n");
        return NULL;
    }

    if ((pG=(Graph*)malloc(sizeof(Graph))) == NULL )
        return NULL;
    memset(pG, 0, sizeof(Graph));

    // 初始化 "顶点数"和"边数"
    pG->vexnum = v;
    pG->edgnum = e;
    // 初始化 "顶点"
    for (i = 0; i < pG->vexnum; i++)
    {
        printf("vertex(%d):\n", i);
        pG->vexs[i] = read_char();
    }

    // 1. 初始化 "边"的权值
    for (i = 0; i < pG->vexnum; i++)
    {
        for (j = 0; j < pG->vexnum; j++)
        {
            if (i==j)
                pG->matrix[i][j] = 0;
            else
                pG->matrix[i][j] = INF;
        }
    }
}

```



```

    }
}
// 2. 初始化"边"的权值: 根据用户的输入进行初始化
for (i = 0; i < pG->edgnum; i++)
{
    // 读取边的起始顶点, 结束顶点, 权值
    printf("edge(%d):", i);
    c1 = read_char();
    c2 = read_char();
    scanf("%d", &weight);

    p1 = get_position(*pG, c1);
    p2 = get_position(*pG, c2);
    if (p1==-1 || p2==-1)
    {
        printf("input_error: invalid edge!\n");
        free(pG);
        return NULL;
    }

    pG->matrix[p1][p2] = weight;
    pG->matrix[p2][p1] = weight;
}

return pG;
}

/*
 * 创建图(用已提供的矩阵)
 */
Graph* create_example_graph()
{
    char vexs[] = {'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G'};
    int matrix[][9] = {
        /*A*//*B*//*C*//*D*//*E*//*F*//*G*/
        /*A*/ { 0, 12, INF, INF, INF, 16, 14},
        /*B*/ { 12, 0, 10, INF, INF, 7, INF},
        /*C*/ { INF, 10, 0, 3, 5, 6, INF},
        /*D*/ { INF, INF, 3, 0, 4, INF, INF},
        /*E*/ { INF, INF, 5, 4, 0, 2, 8},
        /*F*/ { 16, 7, 6, INF, 2, 0, 9},
        /*G*/ { 14, INF, INF, INF, 8, 9, 0}};
    int vlen = LENGTH(vexs);
    int i, j;
    Graph* pG;

    // 输入"顶点数"和"边数"
    if ((pG=(Graph*)malloc(sizeof(Graph))) == NULL )
        return NULL;
    memset(pG, 0, sizeof(Graph));

```

```

// 初始化 "顶点数"
pG->vexnum = vlen;
// 初始化 "顶点"
for (i = 0; i < pG->vexnum; i++)
    pG->vexs[i] = vexs[i];

// 初始化 "边"
for (i = 0; i < pG->vexnum; i++)
    for (j = 0; j < pG->vexnum; j++)
        pG->matrix[i][j] = matrix[i][j];

// 统计边的数目
for (i = 0; i < pG->vexnum; i++)
    for (j = 0; j < pG->vexnum; j++)
        if (i!=j && pG->matrix[i][j]!=INF)
            pG->edgnum++;
pG->edgnum /= 2;

return pG;
}
/*
 * 打印矩阵队列图
 */
void print_graph(Graph G)
{
    int i, j;

    printf("Martix_□Graph:\n");
    for (i = 0; i < G.vexnum; i++)
    {
        for (j = 0; j < G.vexnum; j++)
            printf("%10d_□", G.matrix[i][j]);
        printf("\n");
    }
}
/*
 * 获取图中的边
 */
EData* get_edges(Graph G)
{
    int i, j;
    int index=0;
    EData *edges;

    edges = (EData*) malloc(G.edgnum*sizeof(EData));
    for (i=0; i < G.vexnum; i++)
    {
        for (j=i+1; j < G.vexnum; j++)
        {
            if (G.matrix[i][j]!=INF)
            {

```

```

        edges[index].start = G.vexs[i];
        edges[index].end   = G.vexs[j];
        edges[index].weight = G.matrix[i][j];
        index++;
    }
}

return edges;
}

/*
 * 对边按照权值大小进行排序 (由小到大)
 */
void sorted_edges(EData* edges, int elen)
{
    int i, j;

    for (i=0; i<elen; i++)
    {
        for (j=i+1; j<elen; j++)
        {
            if (edges[i].weight > edges[j].weight)
            {
                // 交换 "第 i 条边" 和 "第 j 条边"
                EData tmp = edges[i];
                edges[i] = edges[j];
                edges[j] = tmp;
            }
        }
    }
}

/*
 * 获取 i 的终点
 */
int get_end(int vends[], int i)
{
    while (vends[i] != 0)
        i = vends[i];
    return i;
}

/*
 * 克鲁斯卡尔 (Kruskal) 最小生成树
 */
void kruskal(Graph G)
{
    int i, m, n, p1, p2;
    int length;
    int index = 0;          // rets 数组的索引

```

```

int vends[MAX]={0};      // 用于保存"已有最小生成树"中每个顶点在该最小树中的终点。
EData rets[MAX];        // 结果数组，保存 kruskal 最小生成树的边
EData *edges;           // 图对应的所有边

// 获取"图中所有的边"
edges = get_edges(G);
// 将边按照"权"的大小进行排序(从小到大)
sorted_edges(edges, G.edgnum);

for (i=0; i<G.edgnum; i++)
{
    p1 = get_position(G, edges[i].start);    // 获取第i条边的"起点"的序号
    p2 = get_position(G, edges[i].end);      // 获取第i条边的"终点"的序号

    m = get_end(vends, p1);                  // 获取p1在"已有的最小生成树"中的终点
    n = get_end(vends, p2);                  // 获取p2在"已有的最小生成树"中的终点
    // 如果m!=n，意味着"边i"与"已经添加到最小生成树中的顶点"没有形成环路
    if (m != n)
    {
        vends[m] = n;                      // 设置m在"已有的最小生成树"中的终点为n
        rets[index++] = edges[i];          // 保存结果
    }
}
free(edges);

// 统计并打印"kruskal最小生成树"的信息
length = 0;
for (i = 0; i < index; i++)
    length += rets[i].weight;
printf("Kruskal=%d:\n", length);
for (i = 0; i < index; i++)
    printf("(%c,%c)\n", rets[i].start, rets[i].end);
printf("\n");
}

int main()
{
    Graph* pG;
    pG = create_graph();
    //    print_graph(*pG);                // 打印图
    kruskal(*pG);                        // kruskal算法生成最小生成树
}

```

## E 网络传输性价比模型模型 Matlab 代码

```

init()
all_route = 20;%路径的数量
pop=init_pop(all_route);

```

**global** route

%关于编译

%函数说明

%输入变量: *pop*: 种群, *pm*: 变异概率

%输出变量: *newpop* 变异以后的种群

**function** [newpop] = mutation(pop,pm)

[px,py] = **size**(pop); %同 *selection*

newpop = **ones**(**size**(pop));%初始化

**for** i = 1:px

**if**(**rand**<pm) %触发变异概率

        mpoint = **round**(**rand**\*py); %随机选取变异的碱基位置

**if** mpoint <= 0 %鲁棒性

            mpoint = 1;

**end**

        newpop(i,:) = pop(i,:);

        %新加入变异

        k = newpop(i,mpoint); %保存原先的位置碱基种类

**while**(k == newpop(i,mpoint)) %一直更新直到出现和原先位置碱基种类不一样的情况

            k = **ceil**(80\***rand**(1));

**end**

        newpop(i,mpoint) = k; %更新当前位置碱基种类

**else** newpop(i,:) = pop(i,:); %反之不突变

**end**

**end**

%如何选择新的个体

%输入变量: *pop* 五进制种群, *fitvalue*: 适应度值

%输出变量: *newpop* 选择以后的五进制种群

**function** [newpop] = selection(pop,fitvalue)

%构造轮盘

[px,py] = **size**(pop); %*px*是种群大小, *py*是染色体长度

totalfit = **sum**(fitvalue); %求和所有目标函数

p\_fitvalue = fitvalue/totalfit; %求出每一个个体求出其在整个种群中的比重

p\_fitvalue = **cumsum**(p\_fitvalue);%概率前缀和排序

ms = **sort**(**rand**(px,1));%随机选取 100 个概率数并从小到大排列

fitin = 1; %初始化筛选

newin = 1;

**while** newin<=px

**if**(ms(newin)) < p\_fitvalue(fitin)

        %当随机选取的概率数小于当前的个体比重, 即个体占优势, 繁殖

        newpop(newin,:)=pop(fitin,:);

        newin = newin+1;

**else**

        fitin=fitin+1; %反之阉割

**end**

**end**

%求最优适应度函数

%输入变量: *pop*: 种群, *fitvalue*: 种群适应度

%输出变量: *bestindividual*: 最佳个体, *bestfit*: 最佳适应度值

```

function [bestindividual, bestfit] = best(pop,fitvalue)
[px,py] = size(pop);
bestindividual = pop(1,:);
bestfit = fitvalue(1);
for i = 2:px
    if fitvalue(i)>bestfit %就是找最大值，没什么好说的
        bestindividual = pop(i,:);
        bestfit = fitvalue(i);
    end
end

```

```

function flag=bfs()
    global pre;
    global rest
    head=1;
    tail=1;
    queue(head)=1;
    visit(1)=1;
    head=head+1;
    maxn=20;
    %rest=route_weight;%残余网络
    visit=zeros(1,20,'int8');
    pre=zeros(1,20,'int8');
    s=1;%源点
    t=20;%超级汇
    while (tail~=head)
        i=queue(tail);
        tail=tail+1;
        for j= 1:maxn
            if(rest(i,j)>0 && visit(j)~=1)
                pre(j)=i;
                visit(j)=1;
                if j==t
                    flag=1;
                    return
                end
                queue(head)=j;
                head=head+1;
            end
        end
        end
    end
    flag=0;
    return
end

```

```

function objvalue = cal_objvalue(pop)
global pop_size
global chromlenth
global route_index
global route_cable
global total_requirement

```

```

global pop_record
global rate_record
global cost_record
route_weight=route_index;
for j = 1 : pop_size
    cost(j)=0;
    for i = 1 : chromlenth
        k = pop(j,i); %取出当前的配置方式
        [r,c]=size(route_cable);
        for q = 1:r
            for w = 1:c
                if(route_index(q,w) == i)
                    route_weight(q,w) = k*route_cable(q,w) * 100;%用尽可能大容量的线
                    cost(j)=cost(j)+k*(route_cable(q,w)+4)/8;
                end
            end
        end
    end
    cover_rate=calculate_max_flow(route_weight)/total_requirement;
    pop_record=[pop_record ; pop(j,:)];
    rate_record=[rate_record cover_rate];
    cost_record=[cost_record cost(j)];
    objvalue(1,j) = cover_rate*10/exp(cost(j)/1000);%/cost(j);
    %对于特定的第一问的两个位置进行计算;
    %disp(f);
    %fprintf('%0.2f',cost(j));
end

%交叉变换
%输入变量: pop: 五进制的父代种群数, pc: 交叉的概率
%输出变量: newpop: 交叉后的种群数
function [newpop] = crossover(pop,pc)
[px,py] = size(pop); %同 selection
newpop = ones(size(pop));
for i = 1:2:px-1 %每相邻两个个体就选取
    if(rand<pc) %触发交叉概率
        cpoint = round(rand*py); %标记交叉互换碱基的位置
        newpop(i,:) = [pop(i,1:cpoint),pop(i+1,cpoint+1:py)]; %将后面全部换掉
        newpop(i+1,:) = [pop(i+1,1:cpoint),pop(i,cpoint+1:py)];
    else
        newpop(i,:) = pop(i,:); %否则继续繁殖
        newpop(i+1,:) = pop(i+1,:);
    end
end
end

init();
global pop_size
global rate_record
global cost_record
global pop_record

```

```

process=zeros(1,50000);%统计遗传算法的进步过程
x=(1:50000);
generation=100000;
pop_size = 100; %种群大小
chromlenth = 21; %染色体长度
pc = 0.7; %交叉概率
pm = 0.9; %变异概率
pop = initpop(pop_size, chromlenth); %染色体处理
for i = 1:generation
    %计算适应度值（函数值）
    objvalue = cal_objvalue(pop);
    fitvalue = objvalue;
    %选择操作
    newpop = selection(pop, fitvalue);
    %交叉操作
    newpop = crossover(newpop, pc);
    %变异操作
    newpop = mutation(newpop, pm);
    %更新种群
    pop = newpop;
    %寻找最优解
    [bestindividual, bestfit] = best(pop, fitvalue);
    process(i)=bestfit;
    disp(bestfit);
    disp(i);
    figure(3);
    plot(x(1:i), process(1:i))
end
serve = bestindividual;
%figure(4);
%surfdisplay(serve); %生成最优排列的图像
%save txt serve;
disp(serve);
scatter(rate_record, cost_record, 0.5)

function init()
clear all
clc
load route
load route_index
global route
global route_cable
global route_index
global pop_size
global chromlenth
global total_requirement
global pop_record
global rate_record
global cost_record
rate_record=[];
cost_record=[];

```



```

pop_record=[];
route_cable=route;
pop_size = 100;%种群大小
chromlenth = 21;%染色体长度
route_index(:,20)=route_index(:,20)*1024;
total_requirement=sum(route_index(:,20));
[r,c]=size(route_cable);
for i = 1:r
    for j=1:c
        if route_cable(i,j)~= -1
            if route_cable(i,j)<=80
                route_cable(i,j)=8;
            else if route_cable(i,j)<=100
                route_cable(i,j)=6;
            else if route_cable(i,j)<=200
                route_cable(i,j)=4;
            end
        end
    end
end
end

function max_flow=calculate_max_flow(route_weight)%用EK算法计算最大流
global pre;%前向边
global rest
rest=route_weight;
pre=zeros(1,20,'int8');
flow=0;
while(bfs() == 1)
    d=9999999;
    i=20;%for (i=t; i!=s; i=pre[i])
    while(i~=1)
        if d>=rest(pre(i),i)
            d=rest(pre(i),i);
        end
        i=pre(i);
    end
    i=20;
    while(i~=1)
        rest(pre(i),i)=rest(pre(i),i)-d;
        rest(i,pre(i))=rest(i,pre(i))+d;
        i=pre(i);
    end
    flow=flow+d;
end
max_flow=flow;
%fprintf(' %.4f\n',max_flow);
end

```