

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 5 月 29 日

目录

1	摘要	2
2	问题重述与分析	2
2.1	微波问题	2
2.1.1	问题 1	3
2.1.2	问题 2	3
2.2	骨干网问题	3
2.2.1	问题 1	4
2.2.2	问题 2	4
3	模型假设	4
3.1	微波问题	4
3.2	骨干网问题	4
4	符号说明	5
4.1	微波问题	5
4.1.1	骨干网问题	5
5	模型建立	5
5.1	微波相关 1.2.3.4.5	5
5.2	数据需求模型	5

5.3	城市评分模型	8
5.3.1	平均年龄评分	8
5.3.2	人均可支配收入评分	9
5.3.3	人口评分	9
6	问题求解	10
6.1	微波问题 1	10
6.2	微波问题 2	10
6.3	骨干网问题 1	10
6.3.1	网络需求评估	10
6.4	骨干网问题 2	10
附录		10

1 摘要

2 问题重述与分析

2.1 微波问题

现有一个 32 单元相控天线阵列, 移相器配置有 4 种方式 ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$)。采用仪器测量每种相位配置下的 3D 空间分布 (数据详见附件一)。使用数据时需要考虑数据中存在的测量误差: 移相器配置为 90° 和 180° , 两者信号相差 $90 \pm err$)°, 其中 err 为测量误差。

2.1.1 问题 1

假设：

1. 合成功率率为 $35dBm$
2. 旁瓣电平尽可能低
3. 可以选择关闭某些通道
4. 在位置 $AZ = 10^\circ$ ，俯仰 $EL = 10^\circ$ 处有一站点，波束设计时避免对该站点的干扰

请给出方位 (水平角 $AZ = 10^\circ$ ，俯仰角 $EL = 5^\circ$) 对应的波束配置 (移相器配置矢量 $\vec{z} = [\Delta_1, \dots, \Delta_N]$)

2.1.2 问题 2

波束配置矢量要求：

1. 整个覆盖区域内，平均辐射功率 $35dBm$
2. 波束覆盖的“凹坑”尽可能小
3. 覆盖波束个数尽可能少
4. 用尽可能少的波束，覆盖水平角 $\pm 30^\circ$ ，俯仰角 $\pm 15^\circ$ 的区域

请给出波束配置列表 $[z_1, z_2, \dots, z_M]$ (M 为波束个数)

2.2 骨干网问题

随着众多网络接入技术的发展，以及未来用户数据需求量呈指数形式的增长，城市之间的骨干网输入输出端口带宽与容量需求也将爆炸式增长。使用最新

的通信技术升级改造骨干网已成为运营商应对未来通信市场需求的一个迫在眉睫的举动。现需要在广东省对已有骨干网进行满足电信市场要求的改造。个人信息接入需求量会随着新科技在群众中的接受度，科技自身更迭速度等因素变化；同时各个年龄段，各收入阶层对信息需求量也有不同。

2.2.1 问题 1

请预估未来十年（截止 2028 年）信息时代各类人群所需要的信息量，以满足广东省全部人口的信息接入需求为目标，省会广州市为数据中心，选择性地用最新的通信技术更新从广州到其余主要行政城市的骨干网络。

2.2.2 问题 2

某通信公司曾提出：“建立一个万物互联的世界”。而在现实社会中，站在运营商角度，每个人的接入价值是不一样的，不同收入、地区、年龄的人接入成本和数据需求都不一样。如果将不同人群的网络接入价值也纳入考虑，并选择性的接入网络价值大的人群，请重新构建网络价值函数，并找到新的最优部署方案。

3 模型假设

3.1 微波问题

3.2 骨干网问题

1. 如表格 1，从 1991 年 2g 网络诞生至今，我们熟知的移动网络通信标准大约 10 年更新一代。为了满足用户对信息容量与信息传输速度的需求，移动网络通信技术积极更新换代，其更新换代的速度大致可以反应所有网络通信技术更新换代的技术。假设在十年后广东省的总数据需求量已经达到了（所提供传输格式的）最大总容量 $64Tb/s$ 的 90%，即 $57.6Tb/s$ 。
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

标准	2g	3g	4g	5g
时间	1991	1998	2008	2020

表 1: 移动网络通信标准对应诞生时间

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。

4 符号说明

4.1 微波问题

4.1.1 骨干网问题

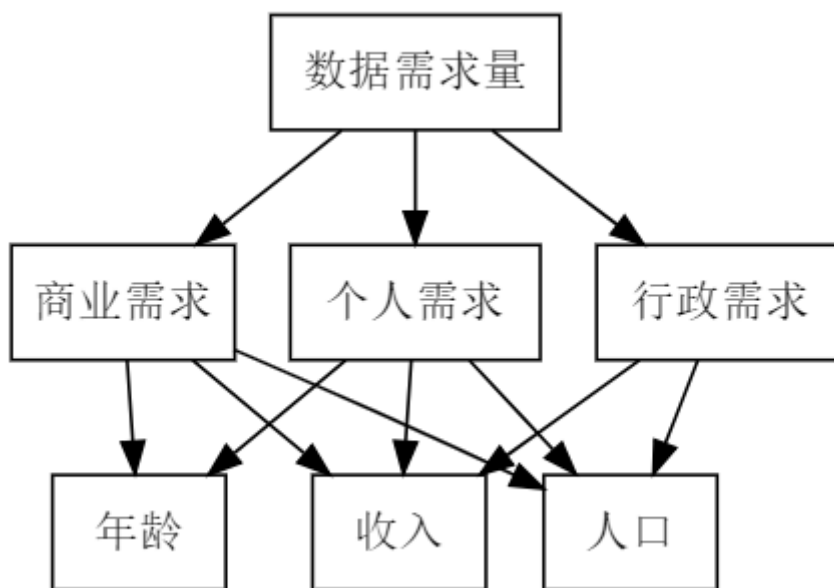
5 模型建立

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。这三层分别为目标层 O（数据需求量），准则层 C，决定层 D。

1. C 层对数据需求量的影响：



图片 1: 数据需求层次结构

(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

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

(f) 又有 D 层对 C 层的平均随机一致性指标为

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

(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 $Y_0 = 34.4$ 岁为 100 分
- 某市 C_k 的平均年龄为 Y_k ，满足 $Y_0 = \frac{x_{k2}}{100} \cdot Y_k$ ，则该市年龄得分为 x_{k2}
- 任一城市 C_k 的年龄得分为

$$x_{k2} = \frac{100Y_0}{Y_k}$$

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 $I_0 = 5.5356 = a^{100}$ 万元)
- 某市 C_k 的人均可支配收入 $I_k = a^{x_{k1}}$ 万元，则该市收入得分为 x_{k1}
- 任一城市 C_k 的收入得分为

$$x_{k1} = \log_{I_0}(I_k^{100}) = \frac{100 \ln I_k}{\ln I_0}$$

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 $P_0 = 1490.44$ 万人为 100 分
- 某市 C_k 的人口为 P_k ，则该市的人口得分为

$$x_{k3} = \frac{100P_k}{P_0}$$

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 网络需求评估

6.4 骨干网问题 2

附录

A 第一个

可以再使用 subsection

B 第二个

同上

参考文献

- [1] 李相赫,《教你玩中单》, 召唤师峡谷: 峡谷出版社, 2015.

- [2] 金泰相, 论中路混子的基本素养, 洲际赛日报, 2018,S(8):02-03,2018.
- [3] 王思聪, 论我为何没有马,<http://www.wscnomom.cnm>,2018.11.11.