

# 5G 基站选址问题的建模解决方案

作者：郭志猛

(电子科技大学 成都 611731)

**【摘要】**对于用户来说，信号强度的强弱能够明显影响用户对移动通信网络的使用体验。而运营商为了能够更好满足用户的需求，并且降低投放基站的成本，必须对基站的地址进行合理的选择。为了解决这一问题，本文通过各种方法，建立了一个基站选址的模型，并且以本校（电子科技大学）为例进行了模型的检验，得出了一个较为普遍的基站选址模型。

**关键词：**基站选址；信号强度；路径损耗；Matlab。

中图分类号：TN828.6

文献标识码：R

## The Modeling Solution Of 5G Base Station Location Problem

Author: Zhimeng Guo

(University of Electronic Science and Technology of China, No.2006 Xiyuan Road, High-tech Zone, West District, Chengdu, 611731)

**Abstract:** For the user, the strength of the signal strength can significantly affect the user's experience with the mobile communication network. In order to better meet the needs of users and reduce the cost of base station deployment, operators must make reasonable choices for the addresses of base stations. In order to solve this problem, this paper establishes a base station site selection model through various methods, and uses the university (University of Electronic Science and Technology) as an example to test the model, and obtains a more general base station location model.

**Key words:** The location of base stations; Signal strength; Path loss; Matlab.

引言：随着 5G 时代的到来，5G 基站的建设也逐渐开始进行。2018 年 3 月 30 日，中国移动天津公司宣布，在中国移动 5G 联合创新中心天津开放实验室开通，这是中国第一批 5G 应用示范城市之一天津的首个 5G 基站。相信不久 5G 基站的建设就会在全国展开，为了给用户提供优质的 5G 服务的同时能够降低基站的建设成本，本文通过数学建模的形式给出一个可能的解决方案。

## 1. 对未来用户数据需求的估计

通过查阅文献，了解到近年来我国移动通信数据业务量增长趋势及预测结果如图：

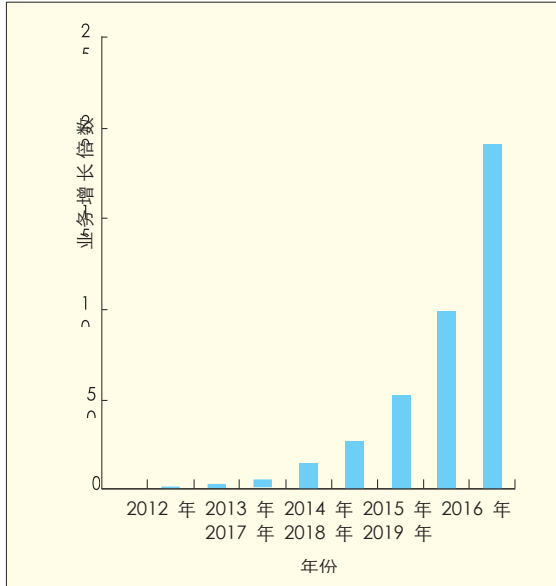
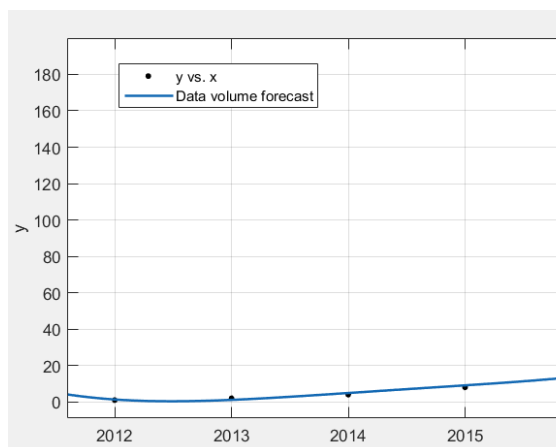


Figure 1: 近年来我国移动通信数据业务量增长趋势及预测结果图

从图中我们可以看到，近年来我国移动通信数据业务量增长迅速，以接近指数的形式增长。为了更为准确地预测未来用户数据变化。我们采用 Matlab 对数据进行拟合，经过对不同模型的比较，我们发现五次的多项式函数能较好地拟合出变化情况，如图：



这样，我们得出移动通信数据业务量的预测公式：

$$f(x) = p_1x^5 + p_2x^4 + p_3x^3 + p_4x^2 + p_5x + p_6$$

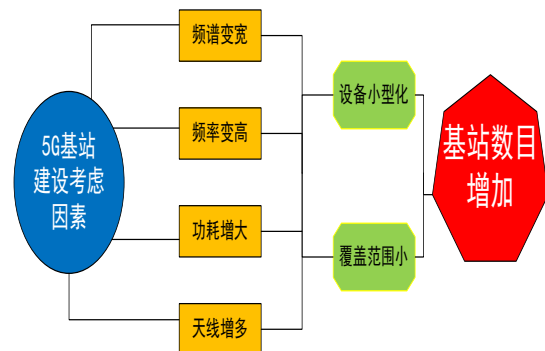
$$\begin{aligned} p_1 &= 0.0005781 & p_2 &= -5.658 & p_3 &= 2.213e+04 \\ p_4 &= -4.326e+07 & p_5 &= 4.223e+10 & p_6 &= -1.647e+13 \end{aligned}$$

根据移动数据网络的发展进程和有关资料，预计 5G 的商用化在 2020 年实现。所以我们利用以上公式对 2020 年移动通信数据业务量进行预测，得到结果为：2020 年移动通信数据业务量为 192 单位（参考文献中并没有给出单位），而目前移动通信数据业务量为 45 单位。我们并不需要考虑这两个数值的绝对意义，只要通过这两个数据得到移动通信数据业务量变化的倍数即可。

$$\frac{192}{45} \approx 4.226$$

也就是说，在 2020 年，5G 开始商用化的时候，移动数据网络的业务量会是目前的 4.226 倍。

## 2. 5G 基站建设考虑因素



移动数据网络的业务量日渐增长，同时基站的承载能力也在增长。为了更好地预测 5G 基站建设数量，我们充分考虑各项因素，见上图。

基站技术层面的变化主要有如下方面：频谱范围变化、带宽增大、传输速率增大、设备小型化、功率升高、天线数目增多等，我们选择其中影响较大的频谱范围变化进行定量分析，而对影响较小的变量暂时不加考虑。

我们考虑频谱范围变化对基站密度的影响。我们知道，电磁波的频率越高，其波长越短，粒子性越明显，能量越大，所以它

的传输速率高，能够在单位时间内传递更多的信息。但是，传输速率高的代价就是传播距离短，因为高频电磁波波动性差，其绕射能力差，更容易在传播介质中损耗、消失。所以，接下来我们以电磁波在自由空间的传播模型作为基础计算电磁波的自由空间损耗。

电磁波在自由空间的传播损耗  $L_s$ ：

$$L_s = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 = \left(\frac{4\pi}{c}\right)^2 d^2 f^2$$

用 dB 描述为： $L_s(\text{dB}) = 10\lg(L_s)$ ，代入

c： $c \approx 3 \times 10^8 (\text{m/s})$ ，将 f 的单位改为

MHz，d 的单位改为 km，取对数最终得公式：

$$L_s(\text{dB}) \approx 32.45 + 20\lg(\text{MHz}) + 20\lg(\text{km})$$

。

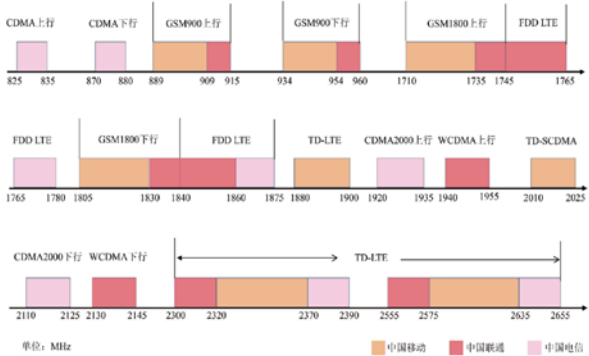
根据相关论文信息和工信部通知，5G 的商用化应该首先在中频段开始。中频段是指 3300-3600MHz 和 4800-5000MHz。之所有会选用这个频段，是基于以下的考虑。

“目前，国内低频段资源已分配完毕，被称为数字红利的 700MHz 频谱一直控制在全国各省广电系公司手中，所以国内暂无低频率资源分配给 5G。高频段，也被称为毫米波，美国已经公布了 28GHz 为主的毫米波分配方案，而中国、欧盟在毫米波主要支持 24GHz 方案。但无论这两种哪种方案，毫米波的连续覆盖都要以大量的基站为基础，需要建设的基站数目预计是 4G 基站的上百倍，这样的负担运营商无法承受。所以在技术没有更好的进展之前高频段也不会被考虑商用化。”

至于 3.5GHz 左右的频段，在国内、全球已经做过了不少的测试。2017 年三月，中国移动已经发布《3.5GHz 频段 5G 系统样机技术指导建议》(Guideline for 3.5GHz 5G System Prototype and Trial)，明确了中国移动面向 5G 商用的分阶段试验计划。根据各项测试结果来看，这个频段的产业链相对成熟。

根据相关论文资料，目前国内 4G 通信

系统广泛采用的频谱如图。



所以 4G 基站传播的电磁波频率在这些区间内，为了便于计算，我们希望用一个值来代替这些数据。我们可以看到 4G 广泛采用的 TD-LTE 的频率集中在 2300-2655MHz，为了便于计算，我们取中位数约 2500MHz。

将 5G 可能采用的 3.5GHz 和 4G 采用的 2.5GHz 分别代入电磁波在自由空间中的传播损耗。即

$$20\lg f(2500) + 20\lg(\text{km}1) = 20\lg f(3500) + 20\lg(\text{km}2)$$

根据计算，可得 5G 基站覆盖最远距离应该为 4G 基站最远覆盖距离的  $\frac{5}{7}$ 。

### 3. 5G 基站建设位置选择

#### 3.1 基站建设的调整

根据我们小组之前对学校信号强度的调查结果来看，校内基站的建设符合以下原则：

1. 呈网状分布，由点构成网。不存在两个基站距离过近的情况，但是基站在某些地区分布密集，在某些地区分布较少。
2. 与可能的人流数量密切相关，所以在人多的地方基站会比较多。
3. 基站的选址考虑到了人流的潮汐效应。
4. 在相对空旷的地方基站数较少，地形复杂的地方基站数较多。
5. 为了美观和避免对居民的心理影响，

基站多选择建在高处。

经过分析，我们认为这样的设置方案比较合理，在 4G 时代能很好地满足学生上网的需求。但是，考虑到 5G 时代可能的发展趋势，我们对基站的建设还是有些调整。

第一点，设备的小型化。小型化的基站会与现在庞大的基站形成补充。大部分设备都在路灯或电线杆上，通常伴随着地上冰箱尺寸的容器。这样来的好处是能够将局部信号不好的地方进行针对性的覆盖，可以更人性化、更具体地解决客户的问题。

第二点，4G 和 5G 基站的协同工作问题。根据 3GPP 最新发布的 5G NSA 标准，5G 采用 LTE 与 5G NR 新空口进行双连接，以 4G 作为控制面的锚点，4G 基站作为主站，5G 基站作维从站，并且沿用 4G 核心网。我们可以看到，这样的 5G 实际上并不需要大规模兴建新的基站，而是将原有网络进行升级，然后小规模地建设一些 5G 基站。并且 5G 基站的建设符合我们考虑到的第一点，会采用小型化的设备来完成。

### 3.2 5G 时代的双连接

而关于 5G 时代的双连接，则是 5G 基站网络的关键。它与 LTE 双连接有着较大差别，具体体现在以下三个方面。

首先是承载分离扩展，4G 基站处理能力存在着处理能力的瓶颈，所以我们要最大限度地减少原来的 4G 基站升级，尽可能地降低设备研发和建网成本，LTE-NR 双连接另辟蹊径，规定也可由 SCG 分离承载，即下行数据流即可从 5G 从站直接传送到手机，也可由 5G 从站传送到 4G 主站，再传送到手机。

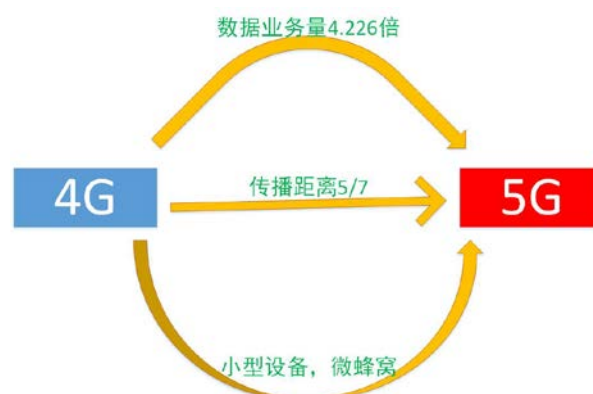
然后是独立 RRC 连接，在 LTE 双连接中，主站和手机之间建立 RRC 协议，即 RRC 消息仅在主站和手机间传送。但主站和从站各自执行无线资源管理 (RRM)，RRM 功能在主站和从站之间通过 X2 接口交互协同，比如从站分配资源后通过 X2 接口与主站交互，再由主站将包含从站资源配置的 RRC 消息发送给手机。简单的说，手机只能看到唯一来自主站的 RRC 消息，并且只会回复给主站。

还有，RRC 分集。由于 5G NR 频段更

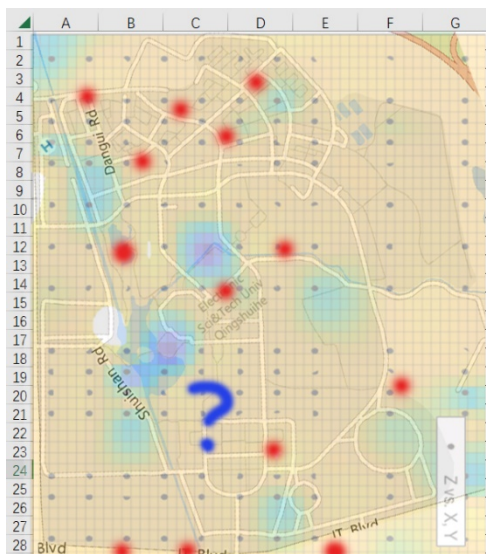
高，早期的 5G 基站可能主要是以微蜂窝的形式补盲和补热点，在这种情况下，手机与 5G 基站的距离比 4G 基站更近，这意味着，当 5G 从站发送 RRC 消息时，手机接收成功的可能性更高。值得一提的是，为了进一步提升信令传输的可靠性，主站的 RRC 消息可以被复制，并通过主站和从站向手机发送相同的消息，以 RRC 分集的方式提升手机接收 RRC 消息的成功率。

所以综合以上三点考量，在 2020 年，也就是基站建设的早期阶段，5G 基站可能数量较少，并且只会以较多的数量、较小的服务范围覆盖服务区域。

## 4. 电子科技大学 5G 基站架设可能方案



目前已知校内及周边共有 13 座基站。根据需要，我们认为 5G 基站建设的总体原则是部分 5G 基站由 4G 基站改造升级而来，部分 5G 基站需要重新建设。而重新建设的基站选址原则是要能够填补 4G 基站覆盖不到的范围。

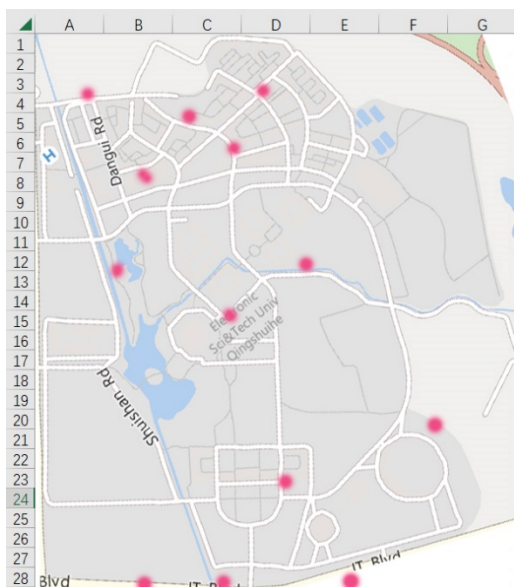


图中所有红色标记即为目前的 4G 基站设置情况。蓝紫色区域则为校内信号强度不佳的地区。

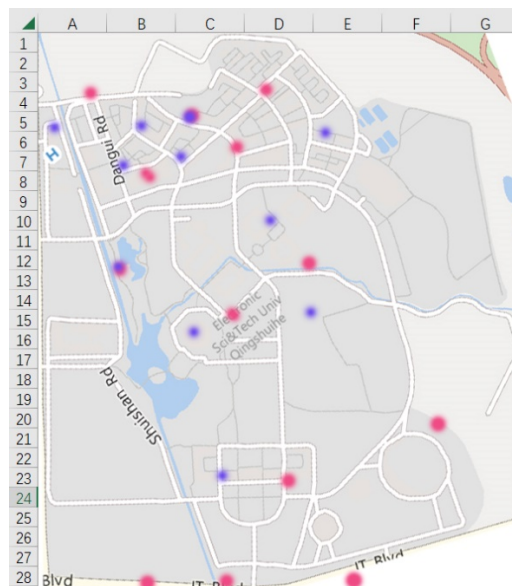
根据上文得到的结论进行分析，在基站建设的早期阶段，也就是 2020 年，这样的一个过渡时期，我们应该在维持现有 4G 通信能力的基础上保证一定用户的 5G 通信情况。

所以，我们认为可以对其中的两座 4G 基站进行升级，并重新建设 10 座基站。

那么，最终的电子科技大学 5G 基站建设如图。



(接右侧)



左图为学校原有 4G 基站建设情况，一共有 13 个 4G 基站。

右图为经过建设升级之后的 5G 基站情况，一共有 11 个 4G 基站和 12 个 5G 基站。以上基站建设情况可以基本满足校内师生对数据服务的需求。

## 5. 结 论

本文通过对未来用户需求的估计，5G 基站建设考虑因素，5G 基站建设位置选择等方面的考量，得到了确定 5G 基站数量、5G 基站相互的分布距离、5G 基站和 4G 基站的协同运行等问题的模型，可以很好地指导 5G 的建设。

同时，限于篇幅和个人能力，本模型存在着诸多提升空间：

1. 本模型只在宏观上对基站建设具有指导意义，即基站建设的空间密度等等，对实际基站的假设还要考虑更多因素；
2. 本模型计算过程很粗略，很多的计算只是简单的数学运算，并没有考虑真实情况下的约束条件；
3. 对电子科技大学基站建设的选择很大程度上取决于个人的主观选择，因为我并没有找到一个合适的、有效地对校内所有地点进行评级选择的手段。



## 参 考 文 献

- [1]张 新, 张 秀。通信工程专业高等数学教学中的数学建模思想的渗透。教育教学论坛, 2017。
- [2]董霄剑, 尤肖虎。WCDMA 中一种新的信道估计方法。电子学报, 2000。
- [3]黄 标, 王 坦。国家无线电监测中心。基于热点城区测算中国 2020 年移动通信频谱需求。2014。
- [4]申静涛。同济大学, 软件学院。基于 RSSI 的对数距离路径损耗模型研究。2013, 12。
- [5]庞 京, 王 坦, 等。河北工业大学, 信息工程学院。信息技术, 2014, 9。
- [6]邓小芳, 张金顺。桂林电子科技大学, 信息与通信学院。数学建模在通信原理课程教学改革中的应用。企业科技与发展, 2017, 7。
- [7]苑海靓, 彭丽叶。中国铁通石家庄分公司, 石家庄。浅谈移动通信无线传播。计算机光盘软件与应用, 2010, 7。
- [8]陈一天, 余爱民。广东科学技术职业学院。2.4GHz 无线局域网在室内外传播的路径损耗分析。电视技术, 2005, 1。
- [9]郭保文。山西省通信公司网管中心。3G 移动通信无线传播模型校正。山西置信科技, 2006, 2。
- [10]张晓佳。内蒙古大学, 电子信息工程学院。阴影衰落信道的建模与分析。2014, 5。