



第二十章 网络规划、 设计与优化



主讲人：牛凯

niukai@bupt.edu.cn

本章内容



- 在本章中，我们将介绍三个方面内容，首先介绍引入网络规划、设计与优化的必要性及其主要内容。
- 然后阐述网络规划、设计与优化的基本原理，它们包含从覆盖角度进行规划与设计的基本原理，从容量角度进行规划与设计的基本原理，系统级仿真主要方法及基本原理等。
- 最后介绍3G、4G多制式网络规划与优化的基本方法。

20.1 网络规划、设计与优化的必要性及其主要内容



- 移动通信系统面向整个服务区，为所有用户提供机动、灵活的移动通信业务。
- 要实现它仅依靠前面介绍的物理层的关键技术和网络层的协议是不够的。
- 还必须有一个从宏观与整体上充分利用物理层与网络层软硬件设备为用户服务的移动网络平台，以构成一个完整的移动网络系统。



- **20.1.1 必要性与基本内容**
- 构成一个完整的移动网络系统首先要根据对服务区的覆盖、容量和质量的要求，服务区域类型与地形、地貌以及无线传播特性等初步确定小区与基站的数量、基站设备配置和大致工程预算。
- 其次要对移动通信正式运营的网络进行工程设计与拓扑结构的确定。



- 第三步是对工程设计的反复调整与优化。通过仿真，将其结果与初步工程设计结果比较，并进一步修改设计参数；根据无线资源管理RRM参数以及实测的网络性能，再进一步仿真并反复修改工程设计，达到初步设计要求，交付正式运营使用。
- 经过一段正式稳定经营以及根据对运营网络的实际路测、网测和运行报表的进一步分析找出问题所在，进一步优化网络结构，改善覆盖，扩大容量，改善质量，提高效益。



- **20.1.2 移动通信中的频率规划**
- 无线电波是随着传播距离的增大而逐步衰减的，正是利用这一空间衰减特性进行空间隔离，对移动通信中的载波频率或者导频相位进行重复性使用，并称它为频率规划和导频相位规划。
- 在移动通信中相邻小区是不能用相同载频的，为了确保同一载频信道小区间有足够的距离，小区(蜂窝)附近的若干个小小区都不能采用相同载频的信道，由这些不同载频信道的小区组成一个区群，只有在不同区群间的小区才能进行载波频率的复用。



- 由蜂窝结构构成的区群中小区数目应满足下列公式

$$N = a^2 + ab + b^2$$

下列表格给出，不同 a ， b 值时区群数 N 值

$b \backslash a$	0	1	2	3	4
1	1	3	7	13	21
2	4	7	12	19	28
3	9	13	19	27	37
4	16	21	28	37	48



- 蜂窝网络规划经常使用的区群结构：9蜂窝区群：3个基站，每个基站3个扇区；12蜂窝区群：4个基站，每个基站3个扇区；21蜂窝区群：7个基站，每个基站3个扇区。
- 例2：我国800MHz移动数据通信系统采用等间隔频率分配方案的13小区全向型，每个小区两个载频且同一小区内相邻两个频率间隔为390KHz，其结构如下：

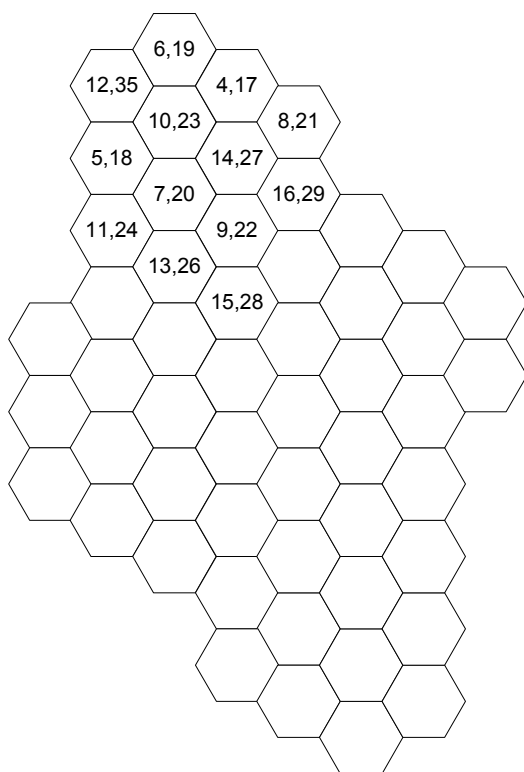


图20.3
13小区
频率复
用模式

• 20.1.3 CDMA中导频偏移量(又称导频相位)规划



	CDMA	FDMA(TDMA)
小区规划	导频偏移量规划	频率规划
干扰类型与度量标准	<ul style="list-style-type: none"> • 同相偏移干扰相位复用距离 • 邻相偏移干扰相位隔离(防护)度 	<ul style="list-style-type: none"> • 同频干扰频率复用距离 • 邻区频率干扰频率隔离(防护)度
理论分析方法与度量准则	概率统计分析方法, E/I 与 \bar{P}_e	概率统计分析方法 载干比 E/I (FDMA) E/I 与 \bar{P}_e (TDMA)
工程分析方法	在理论分析基础上的导频偏移量规划与设计	在理论分析基础上的频率规划与设计



■ IS-95的基本参数

为了有效区分基站，IS-95采用短PN码： $m = 2^{15} - 1$ 。进一步为了便于整除加上一个15位全“0”码，共计有 $2^{15} = 32768$ chips（位）。

■ IS-95中取相位隔离(防护)度为64chips，其原因有：

- 留足够多径时延保护区：它主要对本小区(扇区)而言；
- 相邻小区(扇区)间的导频偏移量应当有足够的间隔；
- 当使用导频偏移量规划时，要防止远端使用同一导频偏移量的小区(扇区)引入的混淆，它主要靠距离引入等效偏移量足够大。(在一定接收门限下)



CDMA中的码片(chip)周期与码片(chip)在空中等效距离

- IS-95/CDMA2000-1X码片周期与空中等效距离:

$$T_1 = \frac{1}{1.2288 \text{ Mcps}} = 0.8138 \mu\text{s} / \text{chip}$$

$$D_1 = T_1 \times \text{光速} C = 0.8138 \mu\text{s} / \text{chip} \times 299311 \text{ km} = 0.244 \text{ km} / \text{chip}$$

- CDMA2000-3X的 T_2 与 D_2 :

$$T_2 = \frac{1}{3.6842 \text{ Mcps}} = 0.271 \mu\text{s} / \text{chip}$$

$$D_2 = 0.271 \times 299311 = 0.081 \text{ km} / \text{chip}$$

- WCDMA的 T_3 与 D_3 :

$$T_3 = \frac{1}{3.84 \text{ Mcps}} = 0.26 \mu\text{s} / \text{chip}$$

$$D_3 = 0.26 \times 299311 = 0.0778 \text{ km} / \text{chip}$$



- 导频偏移量规划中的主要技术参数
 - 基站PN码设计中可用的相位偏移指数 N_{PN}
在IS-95中:
$$N_{PN} = \frac{2^{15}}{64} = \frac{32768}{64} = 512$$
 - 在每一个IS-95中的频点(占1.25MHz带宽), 最大可提供的基站(全向天线)或扇区(三扇区)的地址码数目为512个。



在IS-95中可采用的频点数为：

- 理论上： $N_1 = \frac{25\text{MHz}}{1.25\text{MHz}} \cong 20$ 个
- 实际上要进一步考虑保护频带 $N_2 = \frac{25\text{MHz}}{1.23 + 0.27} \cong 16.7$ 个
- 在我国，IS-95只分配10MHz频段，则有

$$W_1' = \frac{2}{5} \times 20 = 8 \text{个} \quad W_2' = \frac{2}{5} \times 16.7 = 6.7 \text{个}$$

■ 不采用导频偏移量规划时，最大可提供的基站地址码数目K：

- 理论上： $K = N_{PN} \times N_1 = 512 \times 20 = 10240$ 个
- 实际上： $K = N_{PN} \times N_2 = 512 \times 16 = 8192$ 个



- 为了进行导频偏移规划，再引入两个主要参数：
 - 第一个参数是实际上可用于导频偏移规划中的导频偏移组数 N'_{PN} ，它相当于FDMA/TDMA频率规划中的蜂窝群中的小区(或扇区)数目N的最大值；
 - 第二个参数是偏移量增量PILOT-INC：它是一个相对量，与 N'_{PN} 有下列对应关系：



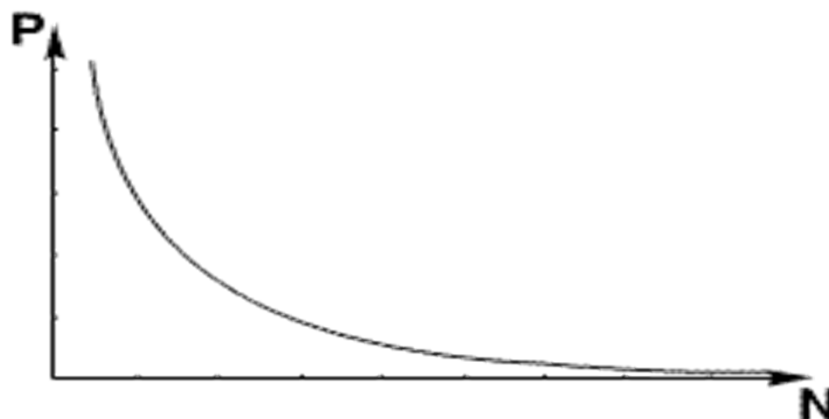
- PILOT-INC与 N'_{PN} 的对应关系:

N'_{PN}	512, 256, 170, 128, 102, 85, ... 51 ...						
PILOT-INC	1,	2,	3,	4,	5,	6,	... 10 ...

- 可见，PILOT-INC越大，实际上规划中蜂窝群中小小区(扇区)数目就越少；
- 在工程上一般取PILOT-INC为4~10左右，对应 N'_{PN} 为128~51。



- 理论上指出：两基站导频间产生干扰的概率与蜂窝群中实际使用的基站数 N 有如下关系：



- $P \leq \frac{1}{N^2}$ (上界)
- 当 $N=4$ 时, $P_4 \cong 0.06 = 6\%$
- 当 $N=10$ 时, $P_{10} \cong 0.1\%$
- 可见在实际蜂窝网中4个一群干扰概率较大, 10个以上一群足以满足要求。



- 取相位隔离(防护)度为64chips时，基站间的等效空间距离为(设计值):
 - 对于IS-95: $d_1 = 64 \times D_1 = 64 \times 0.244 \text{ km} / \text{chip} = 15.6 \text{ km}$
 - 对于CDMA20003x: $d_2 = 64 \times D_2 = 64 \times 0.081 \text{ km} / \text{chip} = 5.18 \text{ km}$
 - 对于CDMA20001x: 与IS-95相同
 - 对于WCDMA: $d_3 = 64 \times D_3 = 64 \times 0.0778 \text{ km} / \text{chip} = 5 \text{ km}$



■ 例1：取PILOT-INC=10

- 实际可用的导频组数目为： $N'_{PN}(10) = \frac{512}{10} = 51$ 个
- 每个导频组偏移量为：

$$64 \times \text{PILOT-INC} = 64 \times 10 = 640 \text{ chips}$$

- 它的等效空间距离为：

$$d'_1 = 640 \times 0.244 \text{ km/chip} = 156 \text{ km} \gg 15.6 \text{ km}(d_1)$$

- 可见，它远远大于设计的基站间等效空间距离15.6km；
- 实际工程中，应预留一些备用的导频偏移量，以供一些特殊基站，比如超高站使用。这样可用导频组数 N'_{PN} 与实际在同一蜂窝群中使用的导频组数N是不一样的。



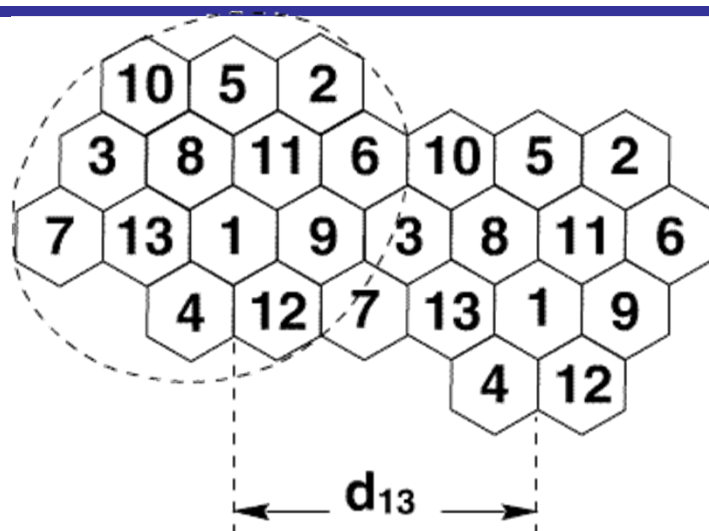
将这51个导频组划分为三组，每组17个：

第一组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
第二组	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
第三组	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

- 上述三个导频组中每组17个，其中取前13个为正式使用，另外后4个供备用；这时， $N = a^2 + ab + b^2$ ， $a = 3$ ， $b = 1$ ， $N = 13$ ；
- 若采用全向天线，则仅用第一组， $N=13$ ，后四个备用；
- 若采用三扇区天线，则三组都使用，仍为 $N=13$ ，且每组后四个备用；
- 这时每个小区内扇区间的导频组划分为：各组对应的列为同一小区，即1，18，35为同一小区，2，19，36为同一小区，以下依次类推。



这时， $N=13$ 的对应小区覆盖规划结构(以全向天线为例)如下：



小区群结构图



扇区结构图

■基中：

$$d_{13} = \sqrt{3N} \cdot r = \sqrt{3 \times 13} \cdot r = \sqrt{39}r \cong 6r$$

r 为小区半径，若取 $r=1\text{km}$ ，则 $d_{13} \cong 6r = 6\text{km}$ ，它等效于 $\frac{6}{0.244} = 26\text{chips}$

■结论：当小于激活导频搜索窗srch-win的一半13chips时，系统中不会出现因导频偏移量规划而引入导频间的干扰。



■ 例2：取PILOT-INC=4

- 实际可用的导频组数目为： $N'_{PN}(4) = \frac{512}{4} = 128$ 个
- 每个导频组偏移量为：

$$64 \times \text{PILOT-INC} = 64 \times 4 = 256 \text{ chips}$$

- 它的等效空间距离为：

$$d_1'' = 256 \times 0.244 \text{ km/chip} = 62.46 \text{ km} \gg 15.6 \text{ km}$$

- 可见，它仍远远大于设计的基站间等效空间距离15.6km；
- 根据： $N = a^2 + ab + b^2$ ，选 $a = 4$ ， $b = 3$
- 则： $N = 4^2 + 4 \times 3 + 3^2 = 37$ ，即选用37个小区(扇区)为一个蜂窝群。

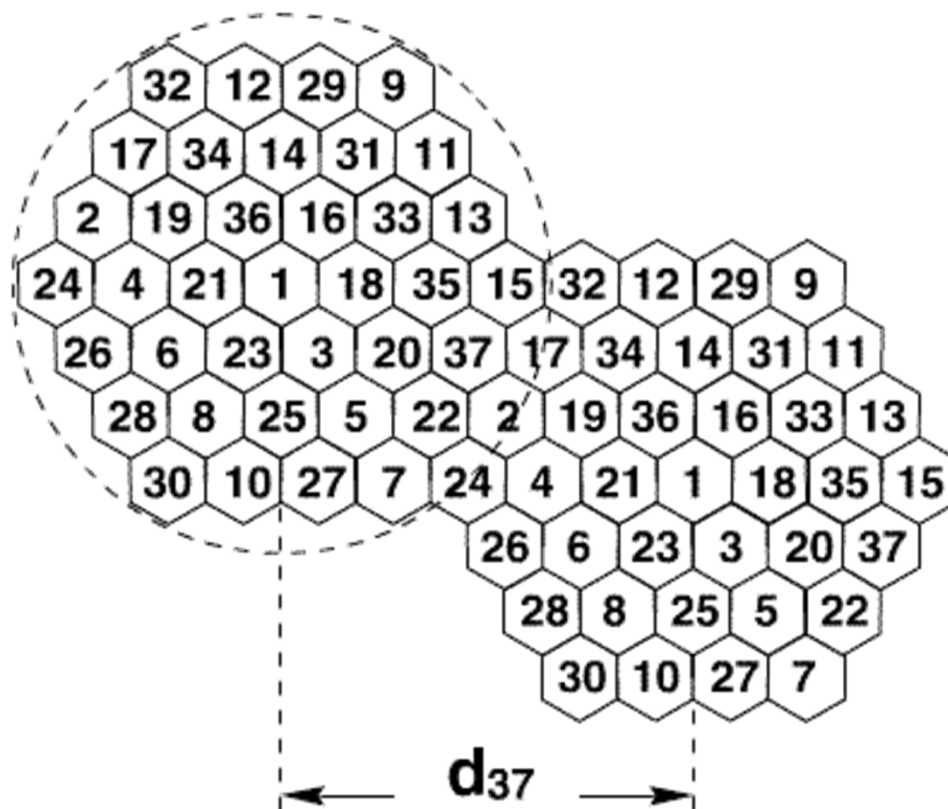


将这128个可用导频组划分为三组，每组42个：

第一组	1	2	3	4	...	36	37	38	39	...	41	42
第二组	43	44	45	46	...	73	74	75	76	...	83	84
第三组	85	86	87	88	...	110	111	112	113	...	127	128

- 若采用全向天线，则仅用第一组， $N=37$ ，后面的38~42备用；
- 若采用三扇区天线，则三组都使用，仍为 $N=37$ ，即每组前37个使用，后面的备用；
- 这时每个小区内扇区间的导频组划分为：各组对应的列为同一小区，即1，43，85；2，44，46；依次类推。

- 这时， $N=37$ 的蜂窝群结构(以全向天线为例)如下：



小区群结构图



扇区结构图



■基中：

■ $d_{37} = \sqrt{3N} \cdot r = \sqrt{3 \times 37} \cdot r = \sqrt{121}r = 11r$

r为小区半径，若取 $r = 1\text{km}$ ，则 $d_{37} = 11r = 11\text{km}$ ，它等效于 $\frac{11}{0.244} = 43\text{chips}$

■结论：当小于激活导频搜索窗srch-win的一半22.5chips时，系统中不会出现因导频偏移量规划而引入导频间的干扰。



- 上述两个例子中，留用的后备导频组主要用于：
 - 个别小区业务量过大，需增加个别临时或长久基站以分担其业务，这类基站偏移指数可从备份中选取；
 - 实际选址中，受条件限制，基站架设较高，为避免其对周围基站的干扰，高天线基站偏移指数可以从备份中选取。

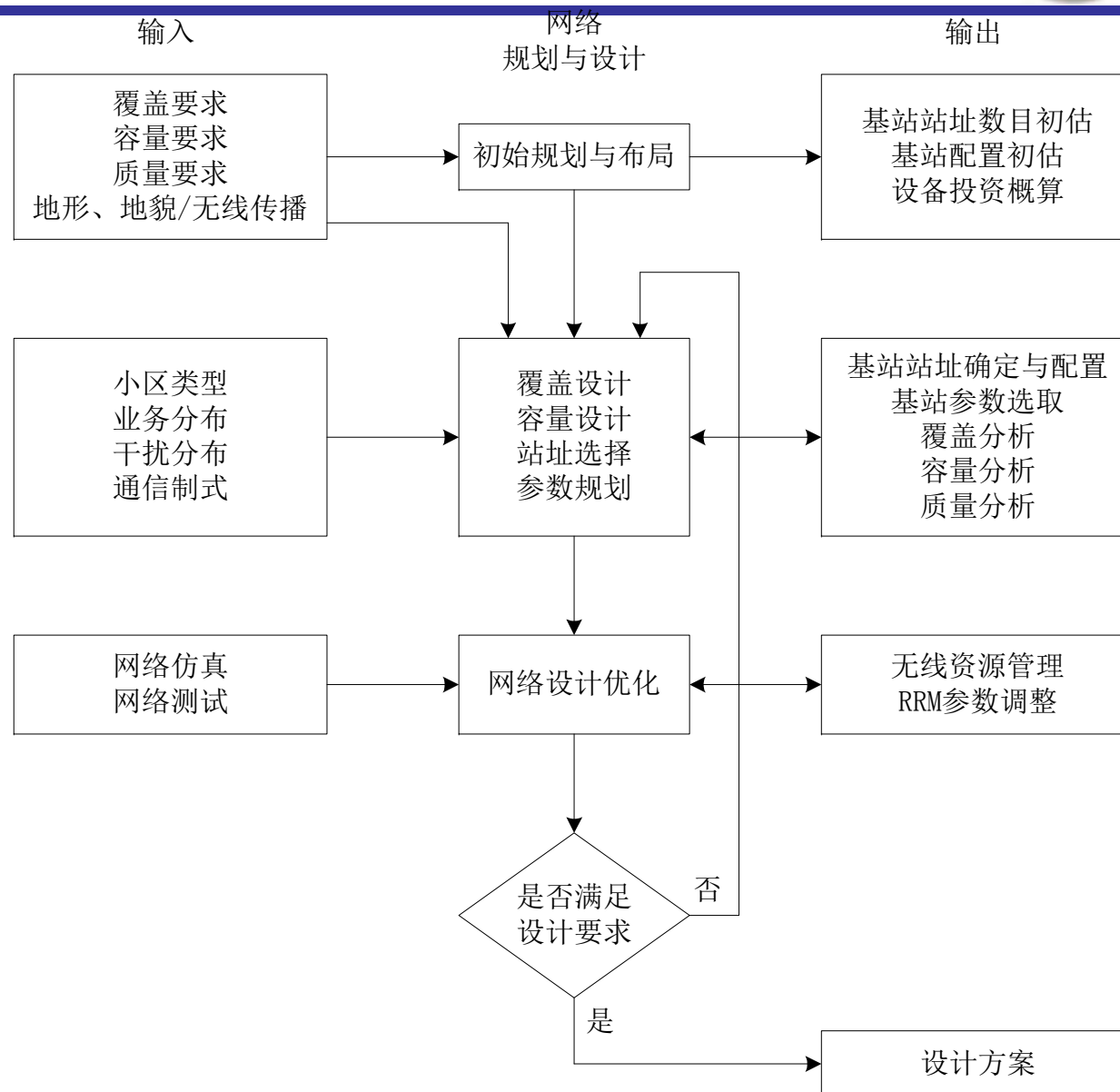
20.2 网络规划、设计与优化的基本原理



- **20.2.1 三者之间的分工**
- **1. 网络规划**
 - 网络规划一般是指在初始阶段对移动通信中网络工程的粗略估计与布局的考虑。
- **2. 网络设计**
 - 网络设计主要负责在初步规划的基础上对正式运营的不同制式移动通信蜂窝网进行工程设计，应考虑到网络工程设计应与移动通信制式即是TDMA、FDMA还是CDMA以及一些具体设备生产厂家的技术性能密切相关。
- **3. 网络优化**
 - 规划、设计一般是在正式建网以前进行并完成的，而网络优化，又称大优化，则是在正式建网后，并经过一段正式运营后才进行的。



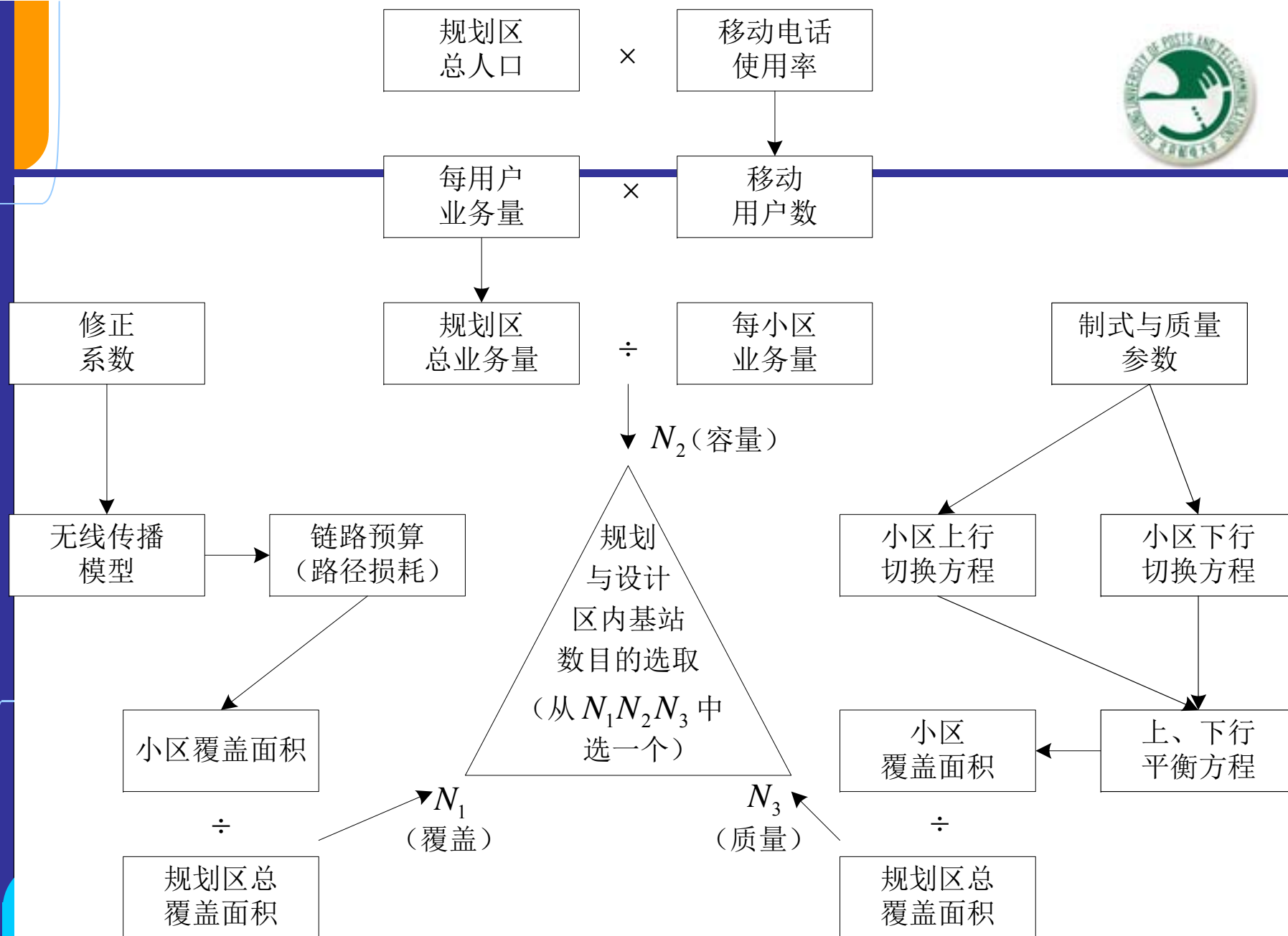
网络规划、设计总体功能框图



20.2.2 网络规划与设计的基本原理



- 进行网络规划与设计，首先需要调研和分析服务区内的基础数据，如：人口与面积，业务需求、业务分布以及现有各种通信手段使用状况，地形、地貌、道路与交通概况，干扰源分布以及经济发展与文化、娱乐、旅游设施，以及对通信业务发展的预测等。
- 从原理上可以分别从覆盖、容量和质量三个不同角度独立进行规划与设计，然后再根据具体的环境与条件选取其中之一为主体。
- 实际上的网络规划与设计归结为覆盖和容量两类方法，而将质量因素归并入上述两类方法之中。无线网络规划与设计的核心问题是基站数目选取及其网络拓扑结构与基站参数的选取。



基站数目选取的三类方法



- 基站数目选取的方法，包括三类。
 - (1) 从覆盖角度预测基站数目 N_1
 - 从覆盖角度进行预测的基本思路是首先根据无线电波传播模型估算出传播损耗，然后将其值代入无线链路方程中，求得小区覆盖面积再除以服务区的总覆盖面积即可求得基站数目。
 - (2) 从容量角度预测基站数目 N_2
 - 从容量预测的基本思路是分别求出规划区内移动通信的总业务量或等效总业务量(它适用于多业务类型)以及每小区的业务量，两者相除即可求得待求基站。
 - (3) 从质量角度预测的基站数目 N_3
 - 从质量角度预测的基本思路是以不同制式下与不同业务类型下的质量参数为主体，求出上、下行链路的切换方程，并加以平衡，求出小区在质量准则下的覆盖面积。将这个小区在质量准则下的覆盖面积除以规划区的总覆盖面积(这是设计要求值)即可求得值。



- 综合考虑从覆盖、容量和质量三个角度分别求得 N_1 、 N_2 和 N_3 ，然后再按下列情况做出最后选择。在满负载情况下，取 N_1 、 N_2 和 N_3 中的最大者，在低负载情况下，取 N_1 、 N_2 和 N_3 中的最小者，在一般情况下，取 N_1 、 N_2 和 N_3 中的中间值。

由于从覆盖和容量都必须要进一步考虑到某些质量方面的需求，所以实际上往往没有必要从上述覆盖、容量和质量三个角度来求解，而是将质量要求融入覆盖和容量中，仅需从覆盖和容量两方面来求解。

20.3 从覆盖角度进行小区规划与设计



- 前面已指出，从覆盖角度进行小区规划中的核心问题是求解两个方程，一个是无线电波传播方程，利用它求解出电波传播的空间损耗，另一个是上/下行链路传输方程及其平衡方程。

- **20.3.1 无线传播方程**

- **1. 自由空间传播模型**

$$L_p(dB) = 32.44 + 20\log_{10} f(MHz) + 20\log_{10} d(Km)$$

- **2. 室外传播模型**

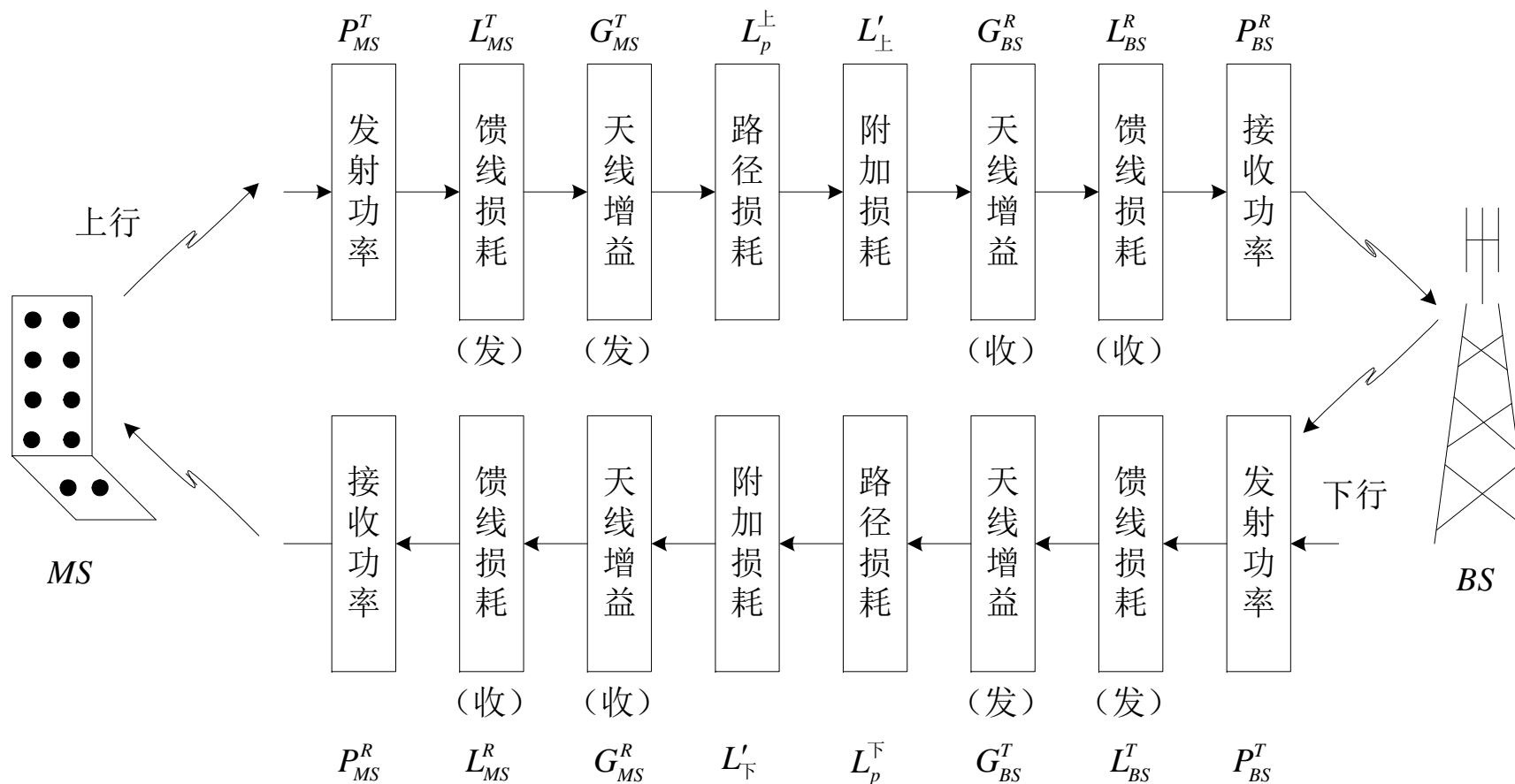
Omura-Hata, WIM与COST231模型

- **3. 室内传播模型**

(1) Ericsson多重断点模型

(2) 衰减因子模型

20.3.2 上/下行链路传输方程及其平衡



移动通信上/下行链路预算模型



• 1. 上行链路预算方程

$$L_p^{\text{上}} = P_{MS}^T - L_{MS}^T + G_{MS}^T + G_{BS}^R - L_{BS}^R - L'_{\text{上}} - P_{BS}^R$$

其中 $L_p^{\text{上}}$ 为上行链路的无线传播损耗(dB), P_{MS}^T 为移动台发射功率(dBm), L_{MS}^T 为移动台发射端馈线损耗(dB), 它一般可忽略, G_{MS}^T 为移动台发射天线增益(dBm), G_{BS}^R 为基站接收天线增益(dBm), L_{BS}^R 为基站接收端馈线损耗(dB), $L'_{\text{上}}$ 为上行附加损耗(含附加增益)(dB), P_{BS}^R 为基站接收功率(dBm)。且有

$$P_{BS}^R \geq R_{BS}^{\text{th}} + M_F + M_S$$

其中 R_{BS}^{th} 为基站接收的门限(dBm), M_F 为快衰落余量(一般遵从瑞利分布, dB), M_S 为慢衰落余量(一般遵从对数正态分布, dB)。



• 2. 下行链路预算方程

$$L_p^{\downarrow} = P_{BS}^T - L_{BS}^T + G_{BS}^T + G_{MS}^R - L_{MS}^R - L'_{\downarrow} - P_{MS}^R$$

其中 L_p^{\downarrow} 为下行链路的无线传播损耗(dB), P_{BS}^T 为基站发射功率(dBm), L_{BS}^T 为基站发射端馈线损耗(dB), G_{BS}^T 为基站发射天线增益(dBm), G_{MS}^R 为移动台接收天线增益(dBm), L_{MS}^R 为移动台接收端馈线损耗(dB), 一般可忽略, L'_{\downarrow} 为下行附加损耗(含附加增益)(dB), P_{MS}^R 为移动台接收功率(dBm)。且有

$$P_{MS}^R \geq R_{MS}^{th} + M_F + M_S$$

其中 R_{MS}^{th} 为移动台接收的门限(dBm), M_F 为快衰落余量(dB), M_S 为慢衰落余量(dB)。

20.4 从容量角度的规划与设计



•20.4.1 通信容量的概念

通信中的容量可以分别从侧重于理论和侧重于实际两个方面来研究。

- 侧重于理论的容量概念，一般是以单位带宽(时间或面积)的信息量为基础。对于话音业务：话务量(Erl)/单位带宽/单位面积，对于数据业务：比特(bit)/单位带宽(时间或面积)。上述定义的容量概念适用于理论上的比较，但是实用上不大方便，因为信息量很难测量特别是模拟话音。

- 侧重于实际的容量概念，一般是以单位带宽(时间或面积)的信道(或用户)数为基础。对于话音业务：话路/单位带宽或者话路/单位带宽/单位面积，对于数据业务：信道/单位带宽。

20.4.2 不同多址方式的蜂窝网通信容量



• 1. 1G FDMA 蜂窝网的通信容量

$$n = \frac{W}{NB} \leq \frac{W}{B \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{c}{I} \right)_{th}}} = \frac{M}{\sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{c}{I} \right)_{th}}}$$

这个公式说明，FDMA的蜂窝系统中分配给每个小区的信道数 n ，正比于可用的总带宽 W ，反比于载干比的门限值 $\left(\frac{c}{I} \right)_{th}$ 。

2. 2G TDMA 蜂窝网的通信容量

$$n = \frac{W}{NB} = \frac{W}{NB_0 / m} = \frac{mW}{NB_0} \leq \frac{mW}{B_0 \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{c}{I} \right)_{th}}} = \frac{M}{\sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{c}{I} \right)_{th}}}$$



• 3. *CDMA* 蜂窝网的通信容量

(1) 反向链路小区容量分析

$$K_{\text{反向}} = \frac{F / R}{E_b / I_0} \times K_1 \times G_U \times G_A \times K_2 \times K_3$$

(2) 前(正)向链路小区容量分析

$$K_{\text{前向}} = \frac{P_{\text{业务}}}{P_{\text{导频}}} \times 23\% \times G_U \times K_4$$

4. *WCDMA* 的容量规划与设计

在第三代(3G)移动通信中, 业务已从单一的话音业务拓广至多种媒体(话音、数据、图像等)乃至多媒体业务。它既包含电路交换(CS)型也包含分组交换(PS)型, 而且它们的QoS要求是不一样的。



- 为了引用统一尺度来考虑多种业务，可以将各种业务数据速率的总和作为衡量业务量的一个标准。

$$R_{\text{总}} = N \times N_B \times T \times R_{\text{业务}} \times \frac{1 + \frac{R_{\text{信令}}}{100} + \frac{R_{\text{开销}}}{100}}{3600}$$

其中 $R_{\text{总}}$ 为总数据率， N 为用户数，其余参量均为单用户。它们包括 N_B 为忙时呼叫次数BHCA， T 为持续时间， $R_{\text{业务}}$ 为业务数据速率， $R_{\text{信令}}$ 为承载信令数据速率， $R_{\text{开销}}$ 为重发所需系统开销。



- 小区处理多种业务的能力可以通过频谱效率，即单个小区在1MHz频谱内所能提供的数据速率来体现。在3G中各种业务的频谱效率是不一样的。根据各种业务的数据量在总数据量中所占有的比重以及各种业务的频谱效率可以进一步求出平均频谱效率 $\bar{\eta}$ ：

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_1 \times R_{\text{业务}}^1}{R_{\text{总}}} + \frac{\eta_2 \times R_{\text{业务}}^2}{R_{\text{总}}} + \dots + \frac{\eta_N \times R_{\text{业务}}^N}{R_{\text{总}}}$$

其中 $\bar{\eta}$ 为平均频谱效率， η_i ， $i = 1, 2, \dots, N$ ，为不同业务的频谱效率， $R_{\text{业务}}^i$ ， $i = 1, 2, \dots, N$ ，为不同业务的数据速率， $R_{\text{总}}$ 为总数据速率。

20.5 网络设计的系统仿真



- 一旦制定了初步的网络设计方案以后，通常采用计算机仿真方法进行验证与分析，并对一些关键参数进行修改与优化。
- 系统级仿真一般是采用两类主要方法：静态仿真，又称为“快照法(抓拍法)”，它像用一部照相机对一个系统的运行情况进行静态的多次快照式抓拍再进行统计分析。动态仿真，又称为“时间驱动法”它是指对所分析的系统在一定的时间内的连续变化进行模拟的一种方法。



- 系统流程中的基本过程Snapshot，相当于采用快照技术采集实际蜂窝系统的用户数据，因此称为抓拍仿真机制。单个Snapshot仿真的步骤如下：
 - (1). 首先，系统生成多个地理位置服从均匀分布的移动台；
 - (2). 计算移动台和基站之间的路径损耗，附加对数正态衰落后，生成链路增益矩阵；



- (3). 根据链路增益矩阵，移动台采用适当的软切换算法选择通信基站(激活集);
- (4). 然后启动一个静态功率控制过程，调整工作链路的功率，使其满足目标载干比，在功率控制过程中，路径增益保持不变;
- (5). 当所有链路都经过更新后，调整移动台的属性，如果链路载干比低于接收机灵敏度，则该用户为不可用(Non Available)状态; 如果链路载干比低于门限值，则该用户为故障(Outage)状态; 如果链路载干比高于门限值，则该用户为正常(Normal)状态。



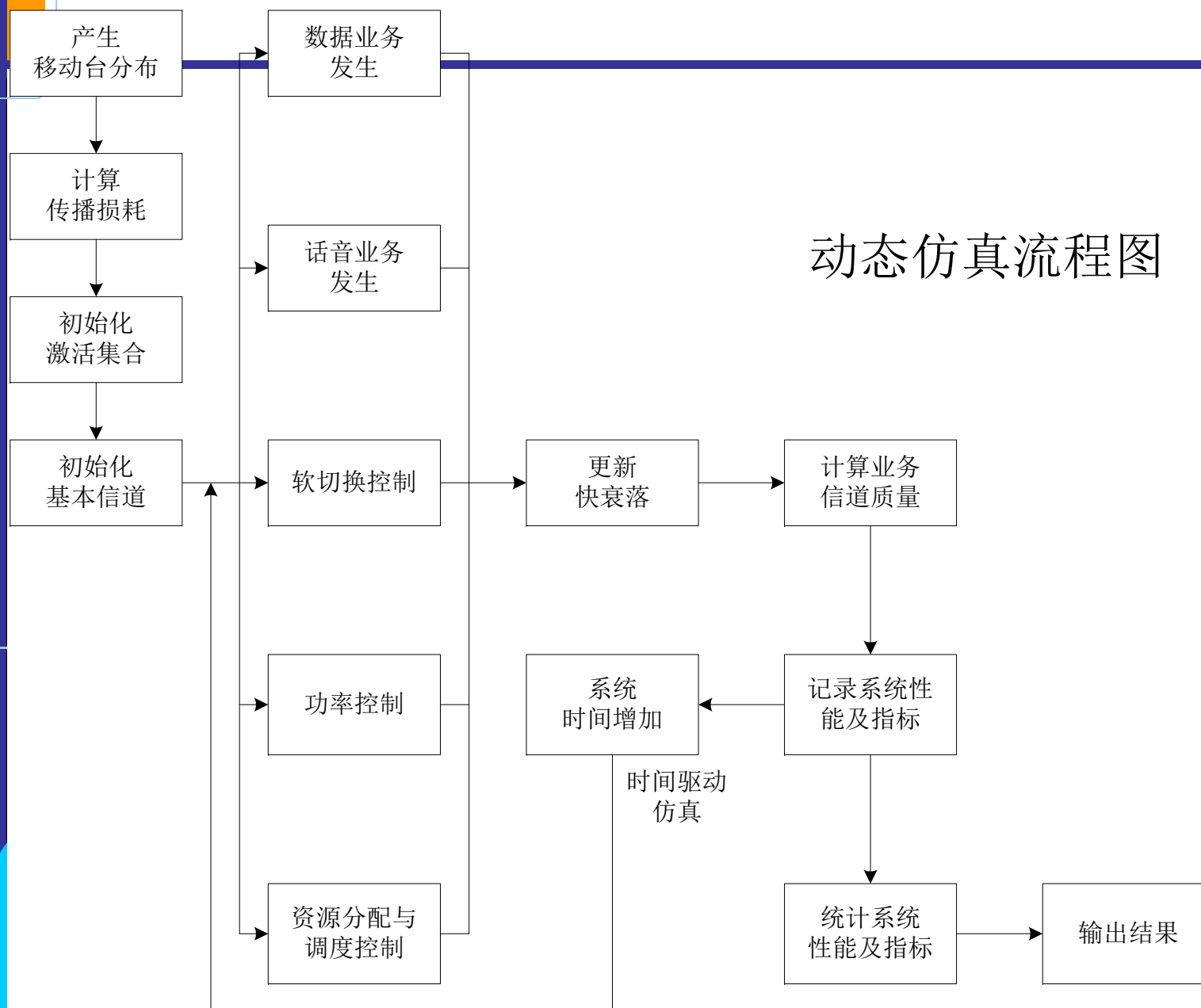
- 动态仿真仅对所考虑的系统在一定时间内的连续变化进行仿真模拟。比如对于CDMA2000系统，其动态仿真时间步长为一个功控周期1.25ms，一般情况下，在一个功控周期中已能够足够精确模拟系统中大部分的操作。



- 在整个动态模拟过程中，要不断及时统计各种业务的服务质量指标。动态仿真与静态仿真相比具有如下优点：(1)可以更为精确的体现系统的动态特征；(2)可以较准确的模拟快速功率控制和切换过程；(3)可以更真实的模拟分组业务的到达模型以及交互特性；(4)可以反映突发式分组业务与话音业务之间的相互影响；(5)可以更好的分析、检验和改进各种复杂的无线资源管理算法。动态仿真的主要缺点是运算量大、耗时长。



动态仿真流程图



20.6 室内规划与设计简介



- **20.6.1 室内规划的必要性与复杂性**
- 室内是移动用户的高度集中区，也是通话业务的高发区。根据话务量统计分析，目前约有80%业务集中于室内，即室内通话的手机数量占据了一大半业务量，显然，移动通信手段是必不可少的。
- 室内环境要远比室外环境更为复杂，不同建筑物规模、材料、结构对移动通信电波传播有很强的屏蔽、吸收作用，且屏蔽吸收的程度，又与建筑物规模、结构和材料类型密切相关，通信质量与建筑物高度、用户所处位置密切相关。



- 在高层建筑物上，由于受到基站天线高度的限制，往往由于覆盖不上，形成盲区或弱信号区域；
- 在中等建筑物和中等楼层，由于用户可接收来自不同基站的信号而产生信号重叠，并易于产生频繁切换的乒乓效应；
- 在地下室、地下停车场接收信号弱，有时还存在盲区和阴影区，严重影响信号通信质量。



- 由于环境的复杂性，通信条件的恶劣，需要利用网络规划来改进通信的覆盖、容量和质量。
- 在覆盖方面，利用增设室内天线，加大功率，改进天线方向性等手段，消除覆盖范围内的盲区、阴影区、过覆盖区和弱信号区；
- 在容量方面，通过增设微微小区与室内小区以满足高业务量的一些室内小区的需求；
- 在质量方面，通过优化小区结构与设计，增设室内小区，提高通话质量，改善服务质量。



- **20.6.2 室内覆盖设计**
- 室内覆盖需要根据覆盖、容量和质量三个方面的要求进行网络的规划和设计。
- 室内覆盖有两种实现的基本方法：
 - 加大室外信号功率；
 - 增设室内信号分布系统。



- **(1)加大室外信号功率法**
- 这种方法需要在室内覆盖盲区设直放站，提高盲区以及弱信号区的室外基站功率，增强电磁波穿透能力，改善针对室内弱信号区与盲区的室外天线方向性，从而解决室内覆盖问题。
- 该方法主要靠提高功率改善室内覆盖，所造成的方向性干扰难以控制。



- (2)增设室内信号分布系统法
- 这种方法利用增设的室内天线分布系统将信号送至室内需要通信的每个角落，实现无缝隙覆盖。
- 它比前一方案更加有效，因此使用也更为广泛。



- 室内分布系统从功能上看可分为两个大部分：
 - 信号接入系统，其作用是将信号引入室内；
 - 信号分配系统，其作用是将接入的信号分配并分布至室内每个需要通信的角落。



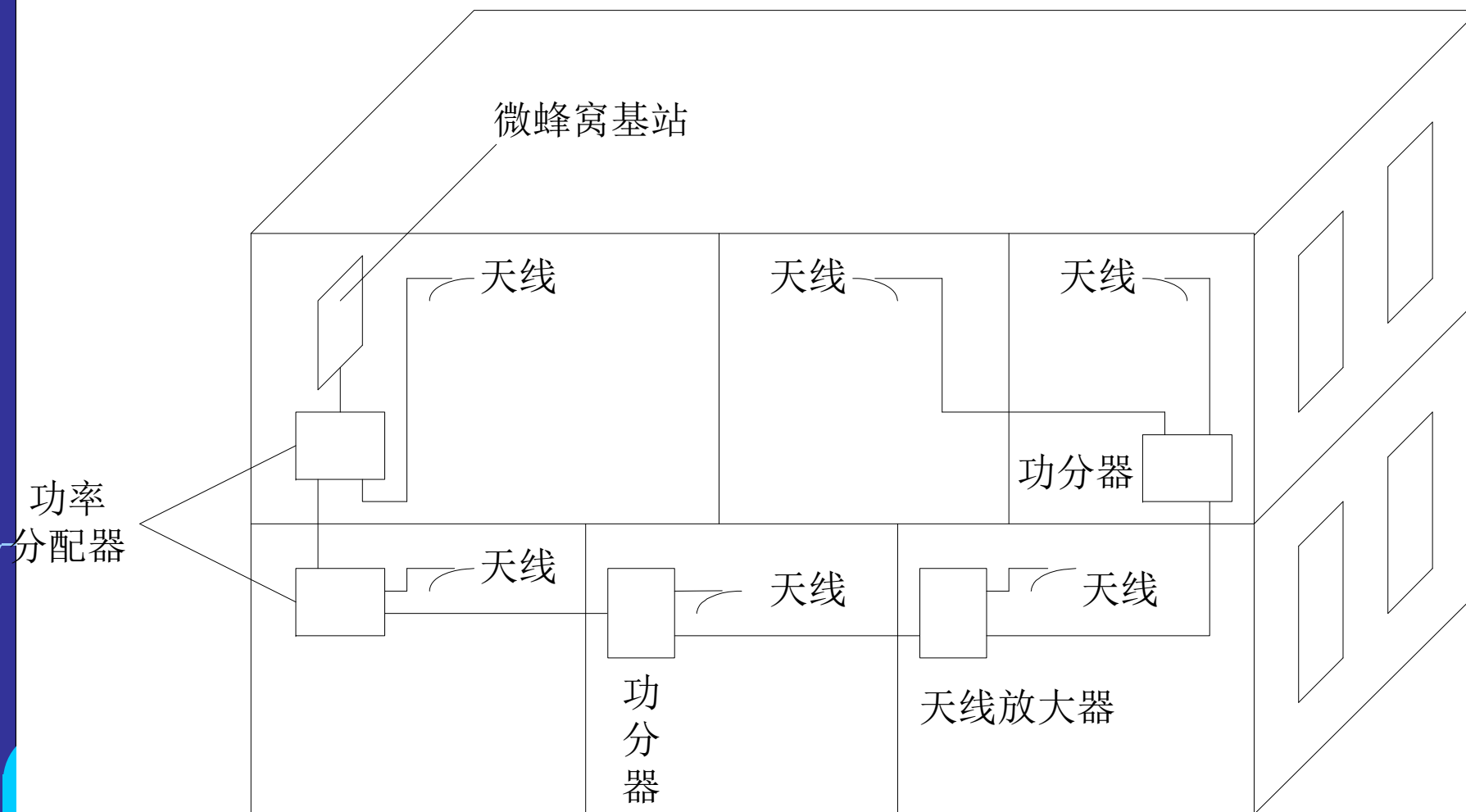
- 室内分布系统从信号接入的方式看可分为：
 - 无线接入，它采用室外天线将附近宏蜂窝基站的信号接收后经放大处理再由室内天线分布至所需覆盖的位置；
 - 有线接入，它采用有线连接方式与室外宏蜂窝基站或BSC相连，可以分为两种方式：
 - 宏蜂窝接入方式；
 - 微蜂窝接入方式。



- 宏蜂窝接入方式，是在附近基站信道较空闲时采用，即由宏蜂窝引一路信号到室内设备，再进行放大和分布，它与室外用户共用容量，一般用于低话务量区；
- 微蜂窝接入方式，即将微蜂窝基站直接设在室内，它可增加网络信道资源，提高网络容量和质量，比较适合于大范围室内覆盖，由于是单纯的专用微蜂窝基站与外部基站基本上无关，它可直接接至BSC，因此适合于大容量、高质量室内小区。



有线接入的微蜂窝室内分布系统结构



20.6.3 室内覆盖需解决的主要问题



- 室内覆盖系统需要解决的主要问题包括：
 - 信号盲区；
 - “乒乓”效应；
 - “孤岛”效应。



- **(1)信号盲区的形成**
- 室内主要盲区首先是各建筑物与大楼中的电梯间，其次是地下室和地下停车场以及超过基站高度的一些高层建筑物。
- **(2)“乒乓”效应**
- 一般高层建筑物中的大部分地区，特别是靠近窗户和靠近室外的地区，可以接收到室外多个基站信号，且其信号强度相差不大时，这时手机就可能在几个不同的小区(基站)之间来回切换，且话音质量很差。这就是所谓的切换“乒乓”效应。



- (3)“孤岛”效应
- 形成“孤岛”效应的主要原因是个别基站覆盖太远，同时由于附近基站并无相邻小区的参数设置，使得该小区用户无法正常切换而形成“孤岛”。
- 这种情况容易出现在办公楼高层区域，外界有很强的信号覆盖，但是由于各种干扰因素造成无法登陆任何小区。

20.6.4 室内规划的设计步骤



- 一旦网络运营者决定要采用室内覆盖系统后，则需按照下列几个主要步骤实施。
 - (1) 现有宏蜂窝覆盖评估；
 - (2) 室内覆盖测量与数据收集、分析；
 - (3) 室内覆盖最优化方案的选择。



(1) 现有宏蜂窝覆盖评估

- 首先探讨从室外覆盖来改善室内覆盖的可能性。
- 但是由于它一般不能增加系统容量，而且网络规划、设计者也不愿意改变原有室外网络来提供室内覆盖。
- 因此很少使用，而更侧重于专门的室内设计方案。

(2)室内覆盖测量与数据收集、分析



- 决定采用专门室内覆盖系统时，应按下列主要步骤进行：
- (i)收集必要的建筑物信息，室内区域楼层规划样图，含墙、建筑模式与结构，需覆盖的楼层之间距离，墙体内、外材料类型，
- (ii)室内人口分布、设备数量及类型，
- (iii)覆盖环境外的建筑物和障碍物的有关信息，
- (iv)计算与预测话务量和数据吞吐量，根据室内建筑的用途和类型(比如写字楼、办公楼、商场、机场、车站、会议中心、宾馆等)预测、计算话务量与数据吞吐量。



- (v)估计建筑物内天线安放位置，它主要决定于室内覆盖区的移动用户数量与业务量，重点考虑室外基站覆盖的盲区与欠覆盖区，重点保证热点地区，移动通信话务量数据吞吐量大的地区。
- (vi)天线主要划分为全向天线型和定向天线型，它要根据不同的目标与要求进行选择。
- (vii)选择基站或直放站位置主要根据楼层规划与结构，尽可能放置在建筑物中间位置，可减少馈线长度，减少馈线损耗。
- (viii)可供选择的电缆有同轴电缆、泄漏电缆和光缆，而走线结构则与室内房屋结构有关。



- (ix)功率链路预算主要用于计算移动台接收到下行链路信号强度的最小值，若该值大于或等于设计目标值，则覆盖达到要求。
- (x)为了规划更准确，可有选择地对一些区域进行场强覆盖测试，可测得建筑物室内天线信号传播的一些特征，它对于设计天线位置很重要。



(3)室内覆盖最优化方案的选择。

- 室内覆盖中最关键、最核心的问题是室内天线位置的定位与优化问题，目前最常用的有两种实现方案。
 - 人工调整与优化；
 - 软件辅助优化。



- 第一种方案是通过人工调整不同天线位置测试结果选择最合适的天线位置。
- 设计人员通过实地勘测，根据个人的经验和直觉选择天线安装位置和配置。
- 用测试仪表在室内进行实际场强测试并将测试数据输入电脑进行分析，通过不断调整天线位置和相应的场强测试分析结构，进行比较，选定最合适方案。



- 第二种方案是利用专用室内覆盖预测软件进行半自动化选择最优位置。
- 首先将建筑物的结构、墙体材料等参数输入电脑的专用软件里，将发射机及天线的位置和输出功率利用经验分配好。
- 通过专用软件工具仿真来评估是否达到所要求的性能指标，若未达到，则修改发射机及天线的位置和输出功率，如此反复。
- 与上述第一种方案相比较，它大大减轻了测试的工作量。



- 将来在第二种方案的基础上进一步改进，达到智能化和自动化的要求，比如设计一种专用软件可以根据不同的室内环境来实现自动化的分配天线位置和配置，并取得最优化的性能。

20.7 GSM系统的网络优化



- **20.7.1 GSM网络优化概述**
- GSM蜂窝网的优化大致可以分为下列三个部分：单小区(无线系统)优化，它是主要部分约占总体优化60%左右，多小区(基站间)优化，约占总体优化的20%左右，网络(主要指交换分系统)优化，约占总体优化剩余的20%。



•1. 单小区(无线系统)的优化

单小区(无线系统)的优化包括： U_m 接口(无线接口)无线测试数据分析与处理，天线参量优化，天线方向性、天线水平角的调整，天线俯仰角的调整，天线高度的调整，分集天线间的间隔调整(或极化分集性能调整)，单小区基站参数的调整与优化，小区地理参数调整与优化，小区覆盖调整与优化，小区频点调整与优化，多(三)扇区间参数调整与优化。



•2. 多小区(基站间)参数调整与优化

多小区(基站间)优化是指优化同属于一个BSC不同BTS之间的系统，它包括：基站位置、配置、天线的调整与优化，BTS与BSC间的 A_{bis} 接口信令分析与处理，BSC与BTS单基站无线分系统的优化配合，BSC频点选择与频率优化配置，基站告警收集与处理。



•3. 网络(交换)分系统的优化

网络(交换)分系统的优化包括：BSC与MSC间A接口信令测试、分析、处理与优化，MSC与MSC交换局间的数据测试、分析、处理与优化，MSC与PSTN之间，即无线交换机与电信骨干网之间的数据测试、分析、处理与优化。

20.8 3G移动通信的网络规划与设计



• 20.8.1 基本要求与实现方法

- 一个移动通信体制的性能取决于物理层技术、网络层平台性质与协议以及网络规划层的拓扑结构，而且主要取决于后两者。2G系统到3G系统的演进从网络平台看：

2G的CS平台 \Rightarrow 2.5G $\left\{ \begin{array}{l} \text{CS} \\ \text{PS} \end{array} \right.$ 两个平行平台 \Rightarrow 3G $\left\{ \begin{array}{l} \text{CS} \\ \text{PS} \end{array} \right.$ 两个增强性平台

正在逐步向全IP的PS平台过渡。从网络拓扑结构看：

单一业务 蜂窝网 \Rightarrow 多种业务 蜂窝网 \Rightarrow 多种业务 立体蜂窝网
 单一层次 单一层次 多层次、重迭式



- 3G中的不同业务有不同的QoS要求：
 - 话音：要求实时性，且误码率为： $P_e \leq 1 \times 10^{-3}$ ；
 - 数据：大部分不要求实时性，且误码率为： $P_e \leq 1 \times 10^{-6}$ 。
- 网络规划中决定小区边界(大小)主要因素：
 - 2G中，主要是以单一速率单一话音业务为依据进行网络规划，即小区边界是按 1×10^{-3} 考虑；
 - 3G中，则取决于多种业务、不同的QoS要求为依据。比如话音按 1×10^{-3} 考虑，数据则按 1×10^{-6} 考虑。



3G中网络规划的基本思路

(1)第一类方案——改良性方案

- 以兼容性为主，主要考虑后向兼容2G与2.5G的网络平台与网络规划的拓扑结构；
- 在基本不改变原有小区规划拓扑结构的基础上，采取一些补救措施，以保证对不同业务的QoS要求。

- 第一类方案具体实现示意图：(单小区为例)

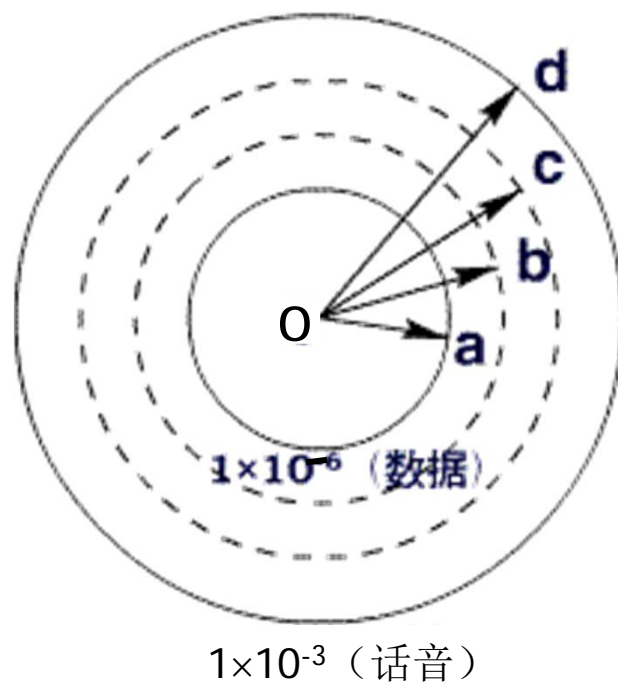


图 3G中网络规划的改良性方案示意图



- 依据传统话音业务，小区应以 $r=od$ 为半径小区业务覆盖圆；
- 依据数据业务，在相等功率条件下，小区应以 $r=oa$ 为半径小区业务覆盖圆；
- 为了弥补两者在覆盖区上的差异，措施如下：
 - 在物理层：采用性能更优的调制与信道编码，可将覆盖区扩大至以 $r=ob$ 为半径的覆盖圆；
 - 在网络层，首先采用ARQ(非实时性)适当将覆盖区扩大至以 $r=oc$ 为半径的覆盖圆，(为了满足一定数据传输效率不宜重发次数太多)，然后采用功控技术(数据需加大功率)将数据服务区最终扩大至 $r=od$ 话音覆盖区。



(2) 第二类方案——以革新为主体

- 上述改良性方案是一种折衷性的过渡方案；
- 革新方案实质是仍在原有话音网络规划的基础上，对整个网络拓扑结构做较大的变动；
- 为了适应多种业务、多种环境下QoS的需求，将单层次网络拓扑结构改造或进行多层次、重迭式立体网络规划。
- 它是第三代(3G)移动通信系统的网络规划与设计的主要方案，可以达到较理想的目标。下面将重点介绍这类规划与设计方案。

20.8.2 多层次重迭式立体网络规划



- 以改良型为主体的上述网络规划存在缺点如下：
 - 这类方案不改变网络拓扑结构，仅从物理层和网络层采用一些相应补救措施：比如ARQ技术与功率控制技术；
 - 若主要依靠ARQ技术，为了保证原有网络拓扑结构和不同业务的QoS，对数据业务就有可能增大重传次数，这将大为降低数据业务的传输效率。

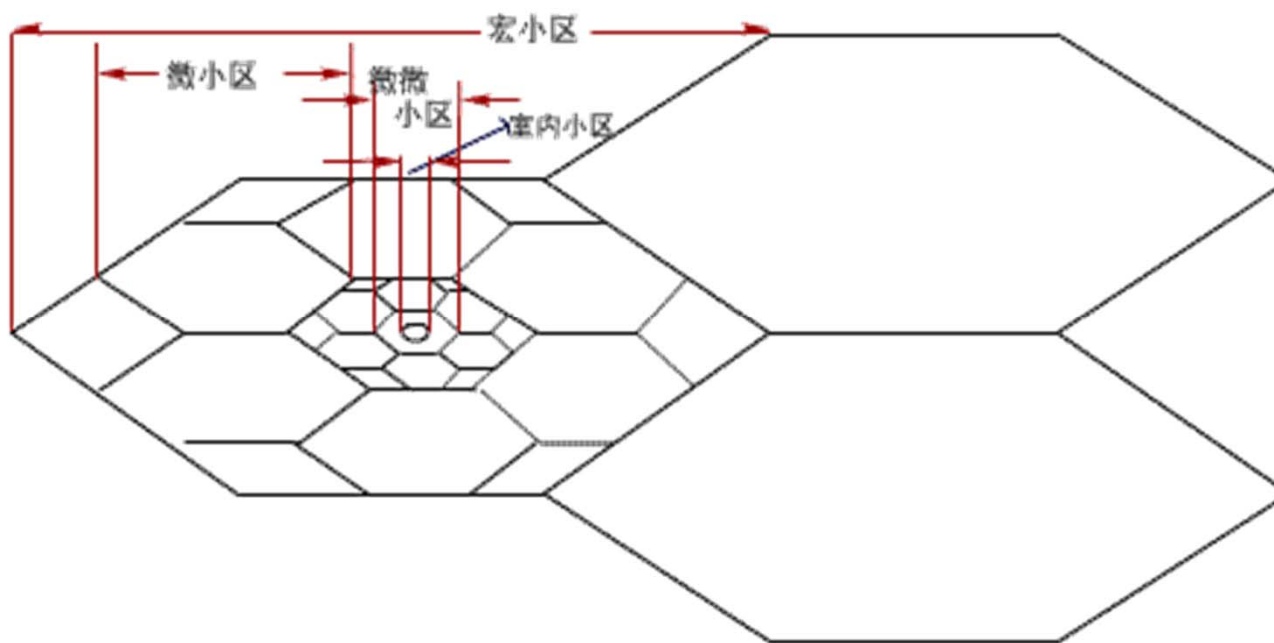


- 若主要依靠功率控制技术，虽然可以提高数据业务的传输效率，但是由于要对不同速率数据业务(含话音)分配不同的功率，才能保持在原有网络拓扑结构中不同速率不同性质业务的QoS要求，但是它也会带来下列新问题：
 - 这类不同速率不同类型业务的不等功率功控方案，将大大增加了功控实现时的难度；
 - 增大了数据业务对话音业务由于功率上差异所带来的干扰。



- 以上分析表明，改良型方案是一类过渡型非理想方案，只有进一步改变网络拓扑结构才能进一步适应需求。
 - 3G中最大特色之一是增加了业务需求的动态随机性，3G是针对多速率、多业务和多媒体业务，且对每个用户何时使用何种类型业务是动态的、是随机的；
 - 在3G中要满足在不同的通信环境下：高速车载、低速步行和准静止的室内，以及不同媒体的不同速率业务：语音、数据和图像的不同QoS要求；
 - 在3G中，只有逐步从简单2G单层次蜂窝小区逐步演进到多层次、重迭式立体网络规划才能适应需求。

- 多层次、重迭式立体网络结构示意图如下：



多层次、重选式立体网络结构示意图



- 在这一多层次、重迭式立体网络中包含有：
 - 宏小区(一般指郊区与农村地区)
 - 适合于高速移动性的车载环境下通信；
 - 适合于低速率语音与低速率数据业务；
 - 其基站功率较大，以满足较大范围覆盖。
 - 一般小区(指一般近郊区与市区)
 - 适合于低速移动车载和步行环境下通信；
 - 适合于低速率语音与较低速率数据业务；
 - 其基站功率比宏小区稍小些，以满足较小范围覆盖。



- 微小区(指繁华市区)
 - 适合于步行和慢速车载环境下通信;
 - 既适合于低速语音与数据, 也适合于中速率数据业务;
 - 其基站功率比前两类小一些, 以满足小范围覆盖。
- 微微小区(指室内小区)
 - 适合于准静态室内环境下通信;
 - 既适合于低速语音与数据, 更适合于较高速率的数据业务;
 - 其基站功率最小, 仅需满足指定范围的室内覆盖。



多层次、重迭式立体网络功能

- 两类不同类型的多层次小区：
 - 第一类是工作于同一频段多层次小区
 - 不同层次间干扰采用导频相位规划实现空间隔离；
 - 同一层次内的各不同业务间干扰主要采用功率控制技术来抑制；
 - 同一小区内干扰主要依靠码分正交性来抑制；
 - 为了防止微小区内频繁切换和掉话，应设计较大的软切换区。



- 第二类是工作在不同频段上的多层次小区
 - 对于第三代3G，WCDMA每个层次要占用不同的5MHz带宽；CDMA2000-1xEV每个层次占用不同的1.25MHz带宽；
 - 层次间干扰，主要依靠频段隔离；
 - 层次内小区间主要依靠导频相位规划；
 - 小区间，不同业务依靠功率控制与码分正交性。

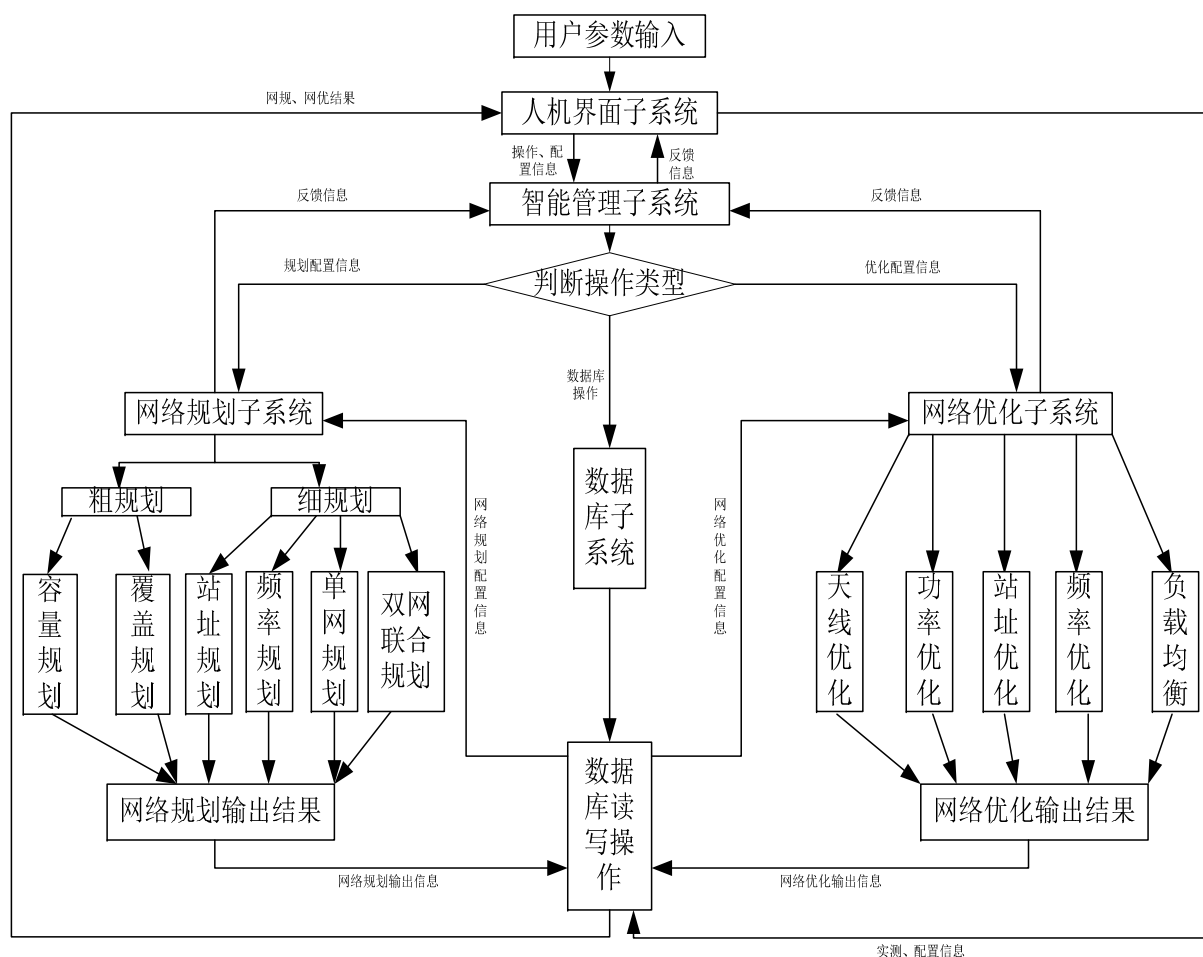


- 在这类多层次、重迭式立体网络中存在两类不同切换：
 - 在同一类小区之间的切换，称它为水平切换，即指宏小区间、一般小区间、微小区间与室内微微小区间的切换。其目的是保证在服务区内各类业务实现不间断通信；
 - 在不同类即不同层次小区之间的切换，称它为垂直切换，即比如宏小区向其它类小区间的切换。其主要目的，是为了适应不同业务的需求或不同环境下通信的需求。

§ 20.9 多制式网络规划与设计



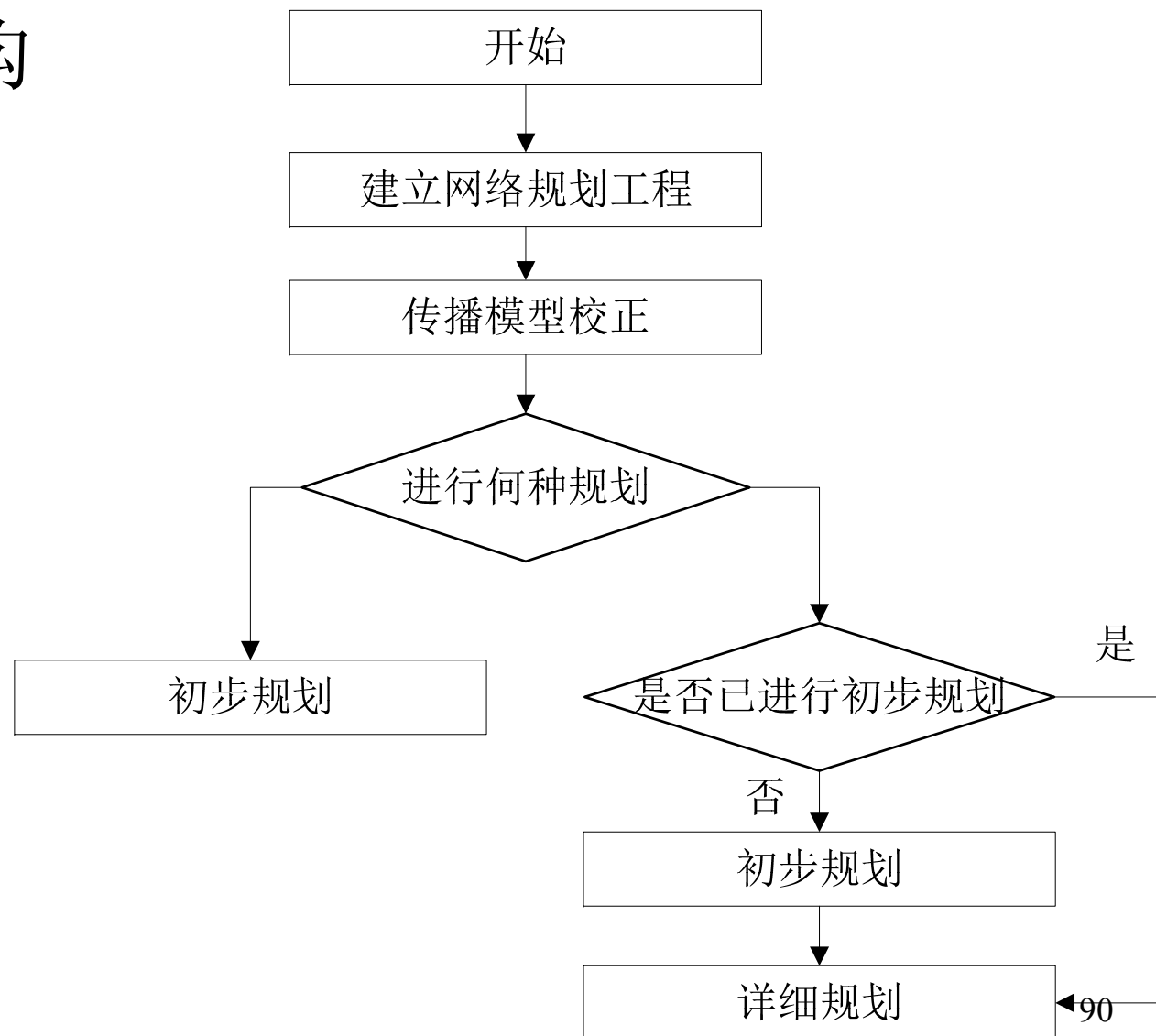
• 整体系统架构



20.9.1 网络规划子系统



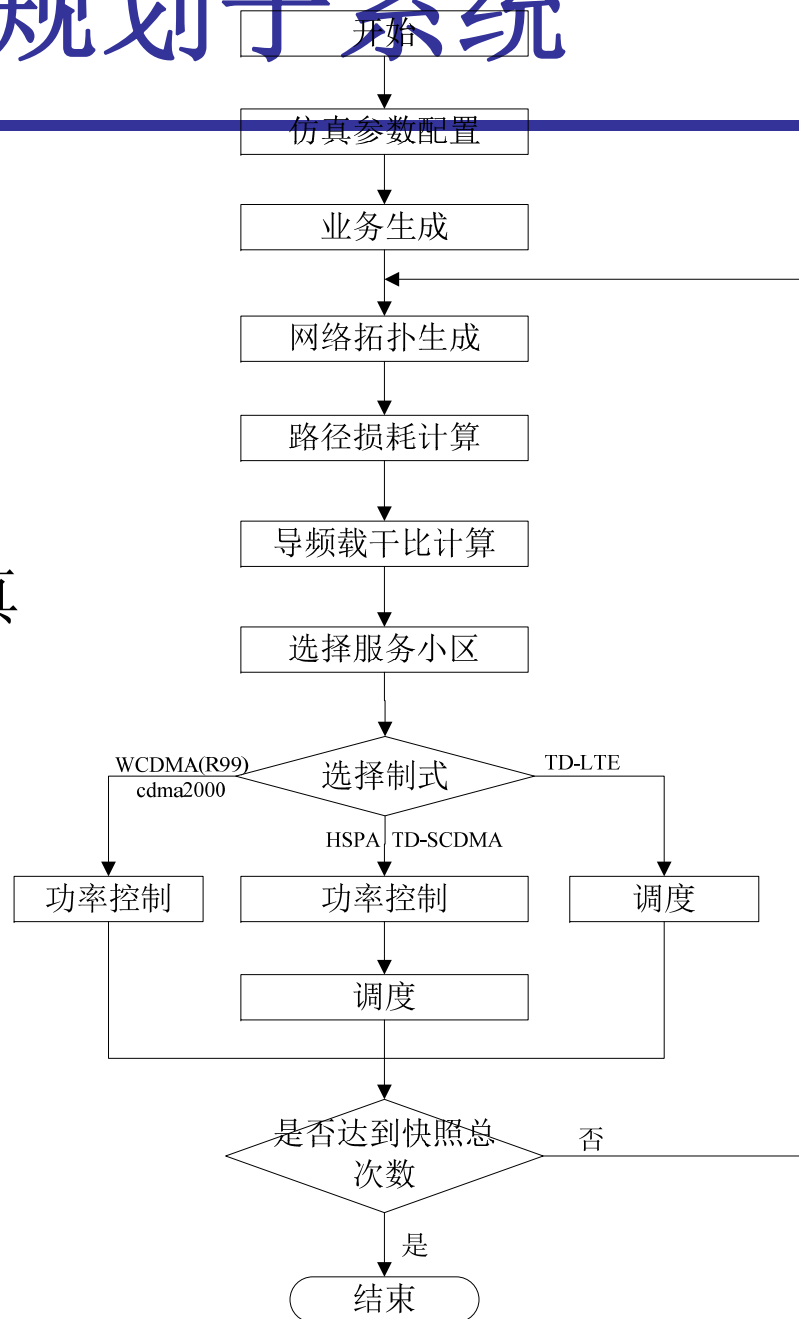
• 功能结构



20.9.1 网络规划子系统



图20.24 网络仿真
总体流程图



20.9.2 网络优化子系统

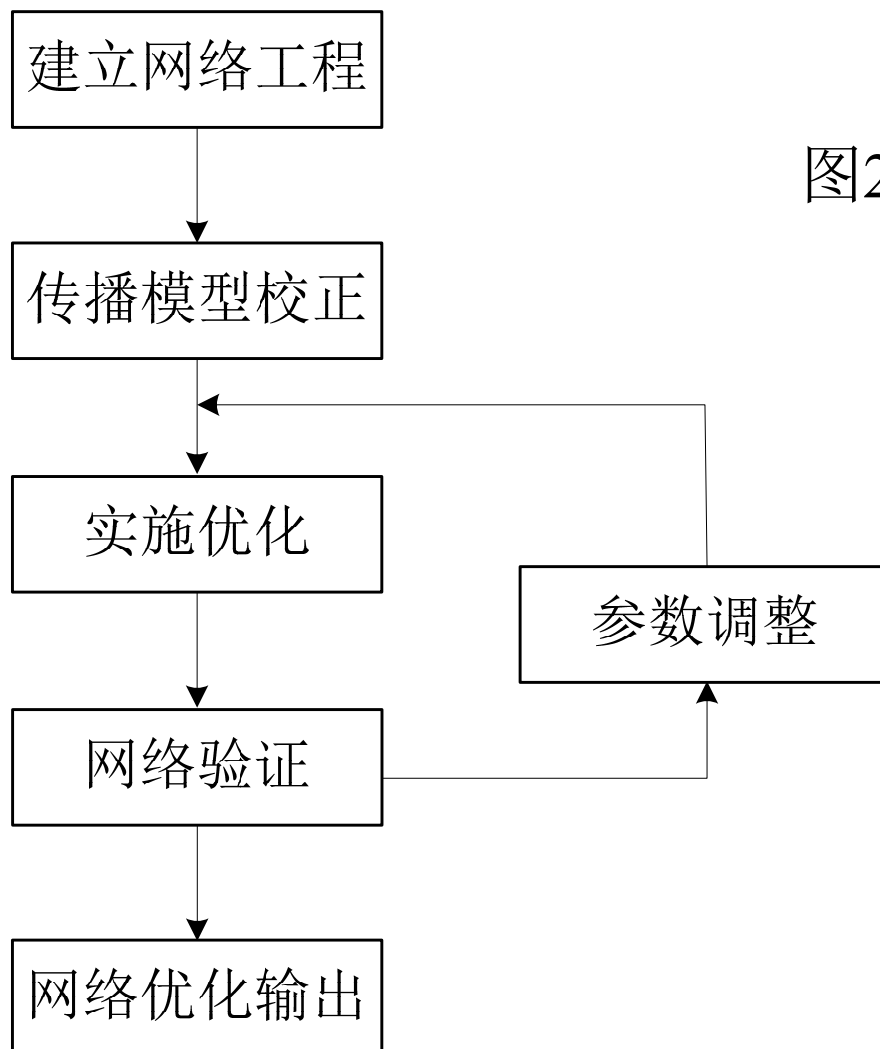


图20.25 网络优化子系统流程图

20.9.3规划与优化效果



20.9.3规划与优化效果

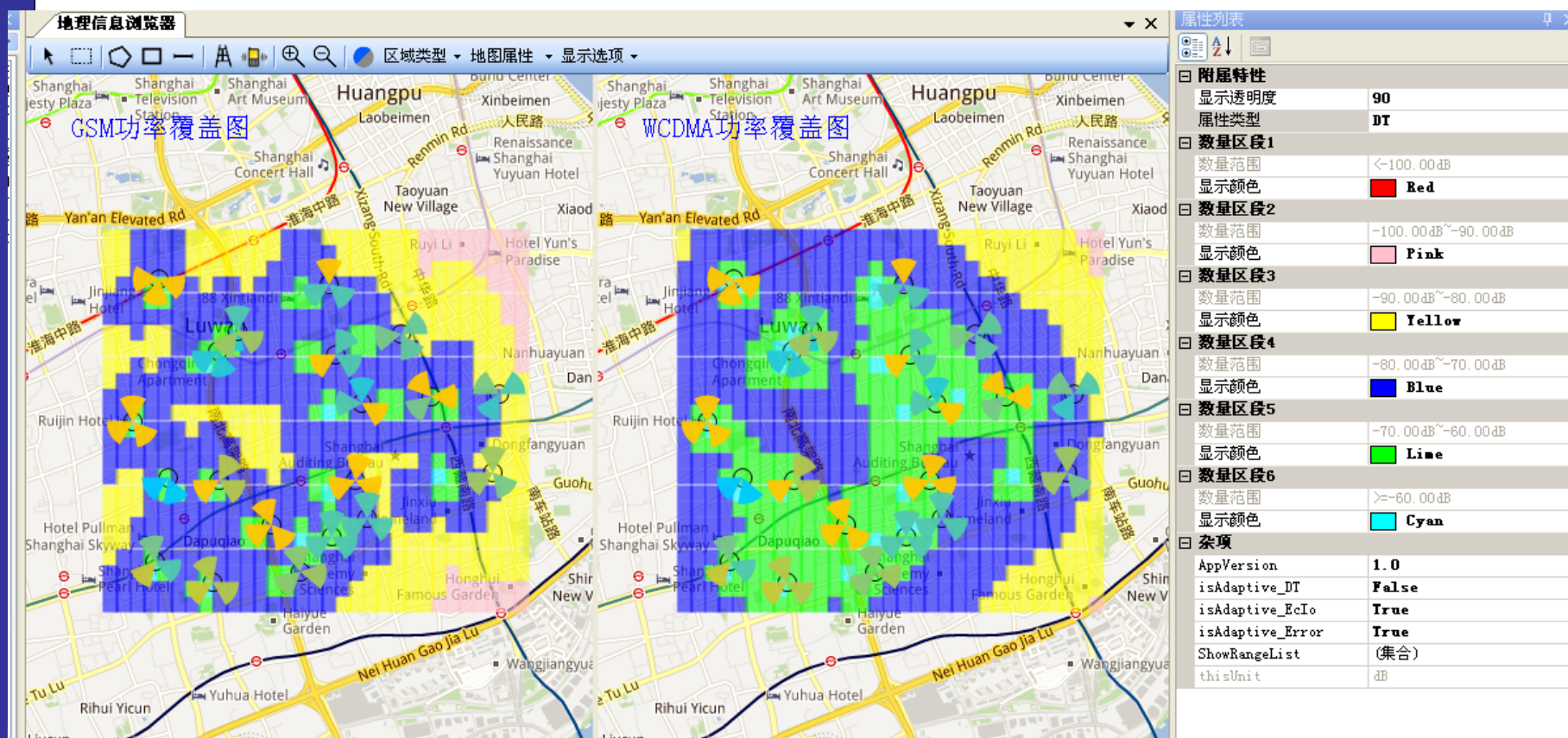


图20.29 GSM和WCDMA联合细规划功率覆盖图

20.9.3规划与优化效果

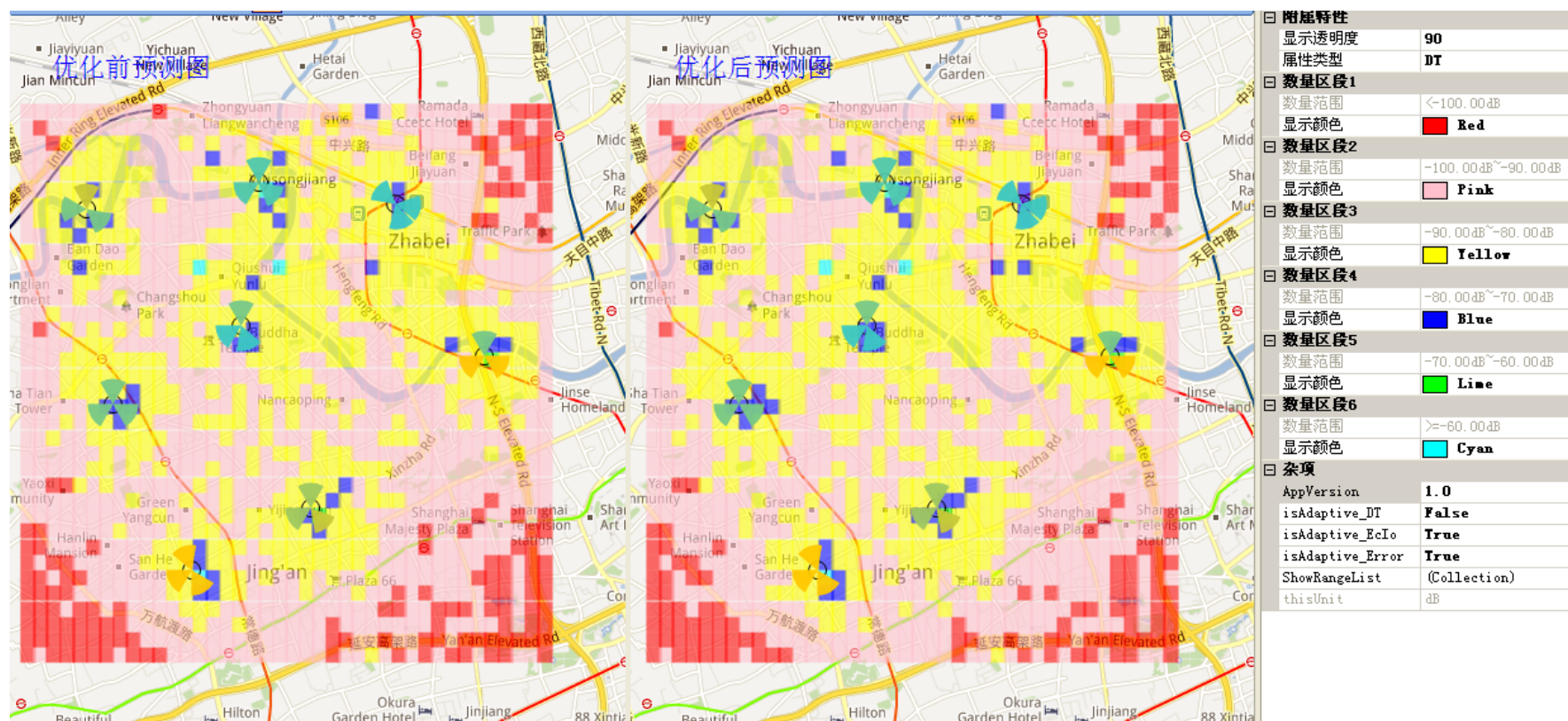


图20.33 WCDMA优化前后功率覆盖对比图



20.10 本章小结

- 本章讨论移动通信系统的网络规划、设计与优化。
- 首先介绍引入网络规划、设计与优化的必要性、分工与主要内容。
- 其次重点介绍网络规划、设计与优化的基本原理：主要包含从覆盖角度进行的规划与设计原理：含电波传播方程、上/下行链路传输方程及其平衡；从小区容量角度进行规划、设计；工程设计优化与系统级仿真主要方法与基本原理以及对室内规划与设计简介。
- 第三介绍了第三代(3G)移动通信中的网络规划与设计的基本方法。
- 最后重点介绍多制式网络规划与优化的基本过程与评估结果。

参考文献



- [20.1] H. Holma, A. Toskala, WCDMA FOR UMTS—Radio Access for third Generation Mobile Communication, 中译本: 《WCDMA技术与系统设计》(周胜等译), 机械工业出版社, 2002.1。
- [20.2] V. K. Garg, IS-95 CDMA and CDMA2000 Cellular/PCS Systems Implementation, Prentice Hall, PTR 2000.
- [20.3] K. I. Kim, Handbook of CDMA System Design, Engineering and Optimization, Prentice Hall, PTR 2000.
- [20.4] T. Ojanpera, R. Prasad, WCDMA: Towards IP Mobility and Mobile Internet, 中译本: 《WCDMA面向IP移动与移动因特网》(邱玲等译), 人民邮电出版社, 2003.9。
- [20.5] S. Tabbane, Handbook of Mobile Radio Network, 中译本: 《无线移动通信网络》(李新付等译), 电子工业出版社, 2001.12。
- [20.6] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, Principles of Wireless Networks: A Unified Approach, 中译本: 《无线网络通信原理与应用》(刘剑等译), 清华大学出版社, 2002.11。



谢谢！