

平面移动通信网内部电磁兼容的网路拓扑结构¹

朱洪波 高攸纲*

(南京邮电学院电子工程系 南京 210003)

*(北京邮电大学 171 信箱 北京 100088)

摘 要 电磁兼容性要求是移动通信网组织规划中一个很重要的网路性能指标,本文重点研究了保证平面移动通信网内部电磁兼容的网路理想拓扑结构,分析研究了在电磁兼容要求下应如何考虑对网路区群频道组数 n 和网格模数 M 的选择。

关键词 移动通信网, 内部电磁兼容性, 网路拓扑结构

中图分类号 TN925.5, O441

1 移动通信网规划的电磁兼容性要求

未来的个人通信要求建立微蜂窝式的城市移动通信网路结构,其特征是非常小的微区服务半径,较低的基站天线,以及较低的发射功率。对微蜂窝移动通信网路的性能质量进行评价的最重要指标之一就是网路的电磁兼容性(EMC),因此电磁兼容性技术已成为无线移动通信网路组网的一个非常重要的组成部分,它包括了移动无线电波传播信道的性能和移动通信系统内和系统间的相互电磁干扰性能这两方面的内容。如果从传输规划的角度来看电磁兼容性,则由于传输信道完全取决于当地的无线开放空间和传播环境,而且城市微区内用于传播无线电信号的复杂动态时变的建设和电磁环境、移动通信系统内不同的微区间以及不同的系统间的相互动态时变的电磁干扰将不仅严重地影响移动无线电信号的特性,并使网路的结构特性始终处在动态变化之中,因此在电磁兼容性要求下进行移动通信组网是一项比公用交换电话网(PSTN)组网中的传输规划更为复杂的系统工程,其结果将直接影响移动通信网路的通信质量和通信容量。

可以认为,移动通信网路组网规划设计的本质就是如何充分有效地利用无线电频谱资源,并确保其电磁兼容性,而其基本原理就是合理地对 n 维空间区域进行分割以实现频谱资源的最佳分配。因此对于移动通信网来说,首要的问题应是如何根据上述思想来确定能满足网路系统内部电磁兼容性要求的最佳网路拓扑结构。本文拟就此问题对人们比较熟悉的平面网路拓扑结构进行一些必要的分析研究。

2 平面移动通信网电磁兼容的理想结构

我们所希望的平面移动通信网的理想拓扑结构应能做到,既尽可能地覆盖最大的平面空间以实现频谱资源利用的充分性(这里是指通过平面面积坐标的分割来实现 n 维空间区域的最大覆盖),又使这种覆盖产生的内交或重叠达到最小以实现电磁兼容的有效性。

设移动网为一个平面图,为实现 n 维空间覆盖之目的必须将这个图分割成若干个具有一定形状且相互连通的面,任意两个相邻面的边界之间至少有一条公共边。如果把这些面就定义为

¹ 1996-11-04 收到, 1997-03-31 定稿

国家自然科学基金资助项目(项目批准号: 69671026)

网路的基站服务区域, 那么关于平面图的图论定理指出^[1], “最大平面图的任何一个面都是三角形”。由此可以推论, 能够保证既无重叠又完全覆盖的全规则最大平面图所分割的所有的面, 都只能是三角形。也就是说, 基站服务区基本单元的形状必须是正三角形或由多个正三角形所构成。

在组网工程中, 由全向性基站天线所实际覆盖的区域是一个圆形的面, 则根据图论的三角形覆盖定理可知, 当基站区采用由六个正三角形构成的正六边形平面结构时, 能取得与圆形覆盖平面的最好近似。也就是说, 由正六边形基站单元构成的网路模型能使所有基站的圆形覆盖区域之间具有最小的重叠。每个正六边形基站单元的面积可用网格模数 M 表示为

$$s_1 = \sqrt{3}M^2/2, \quad (1)$$

式中的网格模数 M 就是相邻两基站间的距离。而根据三角形网格模型对平面图的全覆盖要求, 从平面几何的概念可知当基站服务区的半径为 d_s 时, 模数 M 的取值范围应满足

$$M \leq \sqrt{3}d_s. \quad (2)$$

在清楚了移动网的覆盖和兼容所必须具备且已唯一地得到应用的网格模型以后, 为能最大限度地对频率域重复使用以扩大用户容量, 我们重点研究关于分割平面空间的以下两个问题:

(1) 如果由若干个各使用一个不同频率组的基站区网格组成一个可覆盖全频率域的区域(又称为二级网格), 使得所有这样的区域均重复使用同样的频率域, 那么应如何选择每个区域中的最佳网格数 n (也就是频道组数)? (2) 如何确定这些网格及其二级网格相互之间的最佳距离?

3 网路区域频道组数 n 的电磁兼容考虑

考虑到移动通信网路电磁兼容准则的要求^[2], 规则网格模型中由同频道区域组成的二级网格模型也必须是规则的, 它也应属于三角形网格阵, 其二级网格的模数就是频率再用距离 D 。在这种规则的网格模型中, 每个完整的区域都包含了完全相同的 n 个频道组(即网格), 也就是说整个网路就是重复使用这 n 个频道组。在完全规则的网格模型中, 既然二级网格也必须是由正三角形组成的正六边形, 那么一个区域中的频道组数 n (或组成区域的网格数)是不能随意选择的, 它必须满足下列关系^[3]:

$$n = i^2 + j^2 + i \cdot j, \quad i \geq 1, \quad j \geq 0, \quad (3)$$

其中 i 和 j 均是自然数(整数)。根据这个规则可写出 n 的可能序列为

$$n = 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, 25, 27, 28, 31, \dots \quad (4)$$

由于平面区域的再分原则要求一个二级网格的面积必须与由 n 个基站区网格组成的区域所覆盖的面积正好相等, 则从(1)式可知

$$n(\sqrt{3}M^2/2) = \sqrt{3}D^2/2. \quad (5)$$

由此有

$$D = M\sqrt{n}. \quad (6)$$

这是反映规则平面图网格参数之间关系的非常重要的基本公式, 它完全适用于由六边形基站单元和准六边形区域所构成的任何正三角形网格模型^[3]。显然, 基本公式(6)式中两个连续变化

的网格模数 M 和 D 之间的关系受到频谱参数 n (即频道组数) 的控制。当频谱参数 n 按 (3) 式的规则选定时, 区群的频率再用距离 D 与网格模数 M 之间的关系也就随之确定。从图 1 绘出的规则网格模型的示意图中可以看出, 按照 (3) 式规则选择的 n , 使同频道的基站区网格之间出现了由其它不同频率组的规则网格组成的“缓冲圈”, n 越大则缓冲圈也越多, 其同频道的兼容性也就越好。当 $n = 3$ 或 $n = 4$ 时, 可得到一个缓冲圈; 当 $n = 7$ 或 $n = 9$ 时, 就得到两个缓冲圈; 依此类推, 当 $n = 12$ 或 $n = 13$ 时为 3 个缓冲圈; $n = 16$ 或 $n = 19$ 时为 4 个缓冲圈。

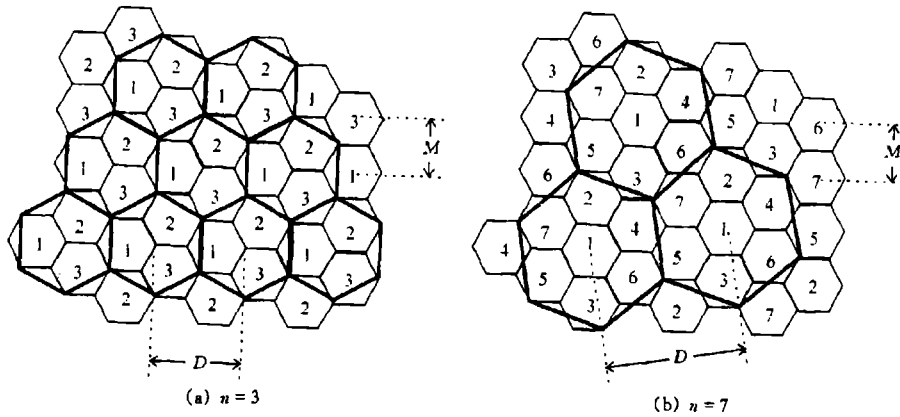


图 1 平面图规则正六边形网格模型

4 网格模数 M 的兼容取值范围

已知 n 选定后, D 就取决于网格模数 M , 因此必须确定 M 的理想取值范围。根据移动通信网的同频道电磁兼容要求

$$P_r \geq r_p P_i,$$

P_r 为接收机中的信号功率, P_i 为接收机输入端的同频道干扰功率, r_p 为接收机取得满意接收效果或保证相互兼容所要求的信号-干扰保护比, 则可导出移动网路的同频道电磁兼容准则为 [2]

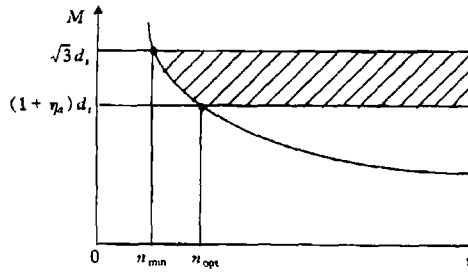
$$D \geq (1 + \eta e^{-(D-2d_s)/(4cS)})d_s, \quad (7)$$

式中 η 为同频道电磁兼容的空间分割系数, S 为信道时延扩展, c 为信号传播速度。设作为同频道网格距离参数的二级网格模数 D 是由 M 和 n 之间的动态变化关系所决定, 则将 (6) 式代入 (7) 式可得网格模数 M 的取值下限为

$$M \geq (1 + \eta e^{-(M\sqrt{n}-2d_s)/(4cS)})d_s/\sqrt{n}. \quad (8)$$

现在我们已经从 (2) 式知道网格模数的最大值:

$$M_{\max} = \sqrt{3}d_s \quad (9)$$

图2 网格模数 M 与区群的频道组数 n 之间的关系曲线

是由服务区半径 d_s 确定的常数, 但从 (8) 式得到的网格模数最小值 $M_{\min}$ 却随 n 的增大而减小, 即网格面积的减小是以减少频谱的占用量为代价的。因此得到了网格模数 M 的取值区间为

$$(1 + \eta_e e^{-(M\sqrt{n}-2d_s)/(4cS)})d_s/\sqrt{n} \leq M \leq \sqrt{3}d_s. \quad (10)$$

作为网路频谱参数的区群频道组数 n , 除了必须按 (3) 式的取值条件以保证网格的完全规则化外, 从图 2 可以看出其取值的范围也受到一定的限制。根据 (10) 式可得到能从理论上保证电磁兼容性的频率重复使用的频道组最小数目 $n_{\min}$ 为

$$n_{\min} = (1/3)(1 + \eta_e e^{-(M\sqrt{n_{\min}}-2d_s)/(4cS)})^2. \quad (11)$$

此外从 (10) 式的关系可以得出的结论是, 分割的频道组数 n 越大则网路模数 M 就可以取得越小。实际上当 M 小到某一数值时便导致产生邻频道干扰, 从而受到邻频道电磁兼容准则的制约^[2], 因此可求出网格模数 M 关于保证邻频道电磁兼容的一个附加下限值, 即

$$M \geq (1 + \eta_a)d_s, \quad (12)$$

式中 η_a 为邻频道电磁兼容的空间分割系数。以上各参数之间的关系如图 2 所示。

至此, 让 (8) 式和 (12) 式直接合并, 且令其相等, 便可获得从理论上来说是最佳选择的频道组最小数 n_{opt} 如下:

$$n_{\text{opt}} = (1 + \eta_e e^{-(M\sqrt{n_{\text{opt}}}-2d_s)/(4cS)})^2/(1 + \eta_a)^2. \quad (13)$$

也就是说, 根据 (12) 式的要求应把 M 的取值范围限定在图 2 中的阴影部分, 即当 $n \geq n_{\text{opt}}$ 时 M 将不再继续减小, 从而保证了网路邻频道间的电磁兼容性; 同时随着 n 的增大导致网格缓冲圈增加, 同频道网格之间的兼容性也越来越增强, 但要注意的是, 这时付出的代价是频谱利用率大大降低, 使用户容量减少。从图 2 还可直接看出网格模数 M 的最大变化量为

$$\Delta M_{\max} = (\sqrt{3} - 1 - \eta_a)d_s. \quad (14)$$

5 结 论

本文的基本思想就是根据多维空间的概念对无线电频谱资源进行充分有效地频率和空间位置的分割从而实现一种使得平面移动通信网具有内部电磁兼容性的网路拓扑结构, 其结果是保证移动通信网能够同时满足用户容量和通信质量这两个基本的网路性能要求。

上述讨论使我们可以得出以下结论: (1) 平面移动通信网能够既获得最充分覆盖又不相互重叠的理想网路结构只能完全由正三角形网格单元所组成, 因此要求在无论什么样的蜂窝网中作为网格单元的基站区形状都必须是正六边形, 或者是一个或多个正三角形所组成的扇形区域; (2) 作为一级网格模数的相邻基站间距离 M 和作为二级网格模数的同频道再用距离 D 的最佳选择及其相互之间的关系完全由网路内部的电磁兼容性要求来决定, 它不仅要考虑到有关频谱资源的分配方式并根据相应的频率分割法来保证系统的内部兼容性, 而且还应充分考虑系统周围不同传播环境对信号和干扰传播特性的复杂影响从而采取相应的不同空间分割方法来达到网路内部电磁兼容的目的; (3) 网路区群的频道组数 n (即区群中的网格数) 是保证移动通信网内部电磁兼容性的一个重要控制参数, 对 n 采用的不同选取办法将直接导致网路拓扑结构的变化 (其中包括基站区的面积和形状, 缓冲圈的大小, 相邻基站之间的距离以及同频道再用距离等)。

参 考 文 献

- [1] 王朝瑞. 图论. 北京: 高等教育出版社, 1981, 第八章.
- [2] 朱洪波. 微蜂窝数字移动通信网的电磁兼容性研究: [博士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 1996.
- [3] 维尔海姆·罗特基耶维兹 (波兰) 编. 冯竞, 兰得春译. 无线电工程中的电磁兼容. 北京: 人民邮电出版社, 1990, 第十章.

NETWORK TOPOGRAPHICAL STRUCTURE WITH ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY WITHIN A PLANE MOBILE TELECOMMUNICATION NETWORK

Zhu Hongbo Gao Yougang*

(Nanjing University of Posts and Telecommunications Nanjing 210003)

*(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100088)

Abstract The requirement of electromagnetic compatibility (EMC) is a very important network performance index for organizing and planning mobile telecommunication network. The paper put emphasis on researching the ideal network topographical structure which could ensure the electromagnetic compatibility within a plane mobile telecommunication network, analyzing and researching how to consider the selection of the number n of frequency group in network cluster and the modules M of network trellis under the requirement of electromagnetic compatibility.

Key words Mobile telecommunication network, Internal electromagnetic compatibility, Network topographical structure

朱洪波: 男, 1956 年出生, 博士, 副教授, 硕士生导师, 电子工程系副主任, 从事专业为移动通信网路与系统, 无线通信与电磁兼容, 无线信道和通信干扰, 电信传输理论及工程等.

高攸纲: 男, 1928 年出生, 教授, 博士生导师, 国际信息科学院院士, IEEE 电磁兼容协会中国分会主席, URSI 中国委员会 E 分会主席, 中国电子学会电磁兼容分会主任委员, 中国通信学会电磁兼容委员会主任委员. 从事专业为环境电磁学, 通信与电磁兼容, 电信传输理论等.