

Nonlinear Fitting Estimation of Common Channel Interference Reserve in Wireless Communication System

Jie Shen, Geng Zhang, Yang Wang

China Electrical Power Research Institute, Beijing
Email: shenjie74@163.com

Received: Apr. 12th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

In this paper we provide a solution to problem existing in link budget of common channel in wireless communication system, adopting curve fitting to calculate equivalent path-loss first, then get cell interference margin; last the real path-loss is obtained. During the procedure, we also select different scene to simulate interference cancellation factor and Interference Ratio between adjacent cell and local cell through weight method. At the end, we get the map of cell edge coverage and area coverage, as reference for wireless network planning and optimization.

Keywords

Wireless Communication System, BCH, FACH, Common Channel, Link-Budget, Curve-Fitting, Edge-Coverage, Area-Coverage

无线通信系统公共信道干扰储备的非线性拟合估计

沈洁, 张庚, 汪洋

中国电力科学研究院信息通信所, 北京
Email: shenjie74@163.com

收稿日期: 2017年4月12日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

本文针对无线通信系统公共信道(主要是BCH和FACH信道)链路预算随机参数估计的问题, 提出采用曲线

拟和的方法,先直接计算出公共信道的等效路径损耗,再计算出干扰储备的方法,最后得到实际路径损耗。同时,通过对不同的场景仿真,采用加权的方法,给出干扰消除因子和邻小区与本小区干扰之比。最后,得到小区边缘覆盖率和区域覆盖率的映射关系,可以用于无线通信网络的规划和优化。

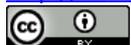
关键词

无线通信系统, BCH, FACH, 公共信道, 链路预算, 曲线拟和, 边缘覆盖率, 区域覆盖率

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对于无线通信系统,公共信道是用于传递系统公有信令、数据的逻辑信道,其覆盖是系统性能的限制因素。现有的公共信道链路预算,对于干扰储备一项取值 3 dB,实际上该值与无线资源设置、功率分配、SCCPCH, FPACH 的使用概率都有关系,因而这样取值不够准确。在链路预算中,采用了链路平衡方程,其中多用户检测的干扰消除因子,邻小区与本小区干扰之比在不同场景下是不同的,从而增加了精确链路预算的难度[1][2]。在 4G LTE 中,用户占用的资源块越多,接收机的底噪越大,覆盖范围就会相应的收缩。对于 5G NOMA (非正交多址)而言,资源块大小不一,相应的底噪不同,覆盖范围也不一致,干扰储备不是固定的,需要采用拟合方式计算。

本文给出了一种采用仿真曲线拟和方式直接求出公共信道路径损耗,倒推干扰储备的方法。同时根据协议规定选取了几十种不同场景仿真,通过加权给出干扰消除因子和邻小区与本小区干扰之比。最后根据实测校正的传播模型计算出路径损耗、干扰储备。对于无线通信网络的规划和优化,通过得到的小区边缘覆盖率和区域覆盖率的映射关系,可以直接查表获取相关数据。通过大量的仿真实验和实际测试提供的拟合数据表明,所得结果与实际组网的结果接近。

本文组织如下:第一部分给出新的链路预算方法;第二部分给出公共信道链路预算流程;第三、四部分,分别给出采用这种新方法进行曲线拟和的实例和仿真计算结果;第五部分给出了小区边缘覆盖率、区域覆盖率映射关系的仿真和计算结果。最后根据计算、仿真结果给出简短的结论。

2. 新的公共信道链路预算方法

2.1. 干扰储备的计算

利用无线通信的链路平衡公式,假设公共信道的解调门限为:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{target}} = \lambda \quad (1)$$

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{N_0 + I_{\text{intra}} + I_{\text{inter}}} = \lambda \quad (2)$$

i 为邻区与本区的接收信号功率比。

假设本区: PCCPCH 发送功率 P_1 , SCCPCH 发送功率为 P_2 , FPACH 发送功率为 P_3 , 小区发送总功率为 P 。

假设考虑广播信道的链路预算：则本区的干扰发送功率为 $P_2 + P_3$ ；邻区的干扰发送功率为 $P_1 + P_2 + P_3$ 。

因而有：

$$\lambda = \frac{P_1/L}{N_0 - (P - P_1)/L + i \cdot P/L} \quad (3)$$

(L 为路径损耗)

$$L = \frac{\frac{P_1}{\lambda} - (P - P_1 + i \cdot P)}{N_0} \quad (4)$$

此时的干扰储备为：

$$\begin{aligned} \eta_{\text{margin}} &= \frac{N_0 + I_{\text{intra}} + I_{\text{inter}}}{N_0} \\ &= \frac{N_0 - (P - P_1)/L + i \cdot P/L}{N_0} \end{aligned} \quad (5)$$

2.2. 进一步的考虑

1) 加入邻区与本区的干扰抑制因子

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{N_0 + \beta_1 * I_{\text{intra}} + \beta_2 * I_{\text{inter}}} \quad (6)$$

其中： β_1 为本小区多用户检测干扰消除后等效成白噪声的因子； β_2 为同频小区间的干扰消除后等效成白噪声的因子。

按照上述相同的过程可以给出路损的计算。

这里重点考虑 β_1 与 β_2 的提取。可以设计本区与邻区的干扰场景,通过仿真给出平均情况的典型值[3]。

2) 加入 SCPPCH 与 FPACH 的激活因子(存在的概率)

假设 α_1 为 SCPPCH 的激活因子， α_2 为 FPACH 的激活因子

$$\frac{C}{I} = \frac{P_1/L}{N_0 + \beta_1 \cdot (\alpha_1 \cdot P_2 + \alpha_2 \cdot P_3)/L + \beta_2 \cdot i \cdot (P_1 + \alpha_1 \cdot P_2 + \alpha_2 \cdot P_3)/L} \quad (7)$$

2.3. 拟合算法

2.3.1. 两种拟和方法

方法 1：不参加多用户检测的同频干扰等价白噪

拟合算法原理，如图 1 所示。

这里假设曲线 1 为单用户的 BLER 曲线，2 为同频干扰下的 BLER 曲线，

同频情况下实际的白噪为 N_2 ，白噪与干扰等效成的白噪为 N_1 ，

$$C/N_1 = \lambda_1 \quad (8)$$

$$C/N_2 = \lambda_2 \quad (9)$$

$$N_1 = N_2 + N_{\text{adj}} + f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1, I_n) \quad (10)$$

这里 N_{adj} 为没参与多用户检测的邻区干扰等效成白噪声，将(8)(9)代入(10)

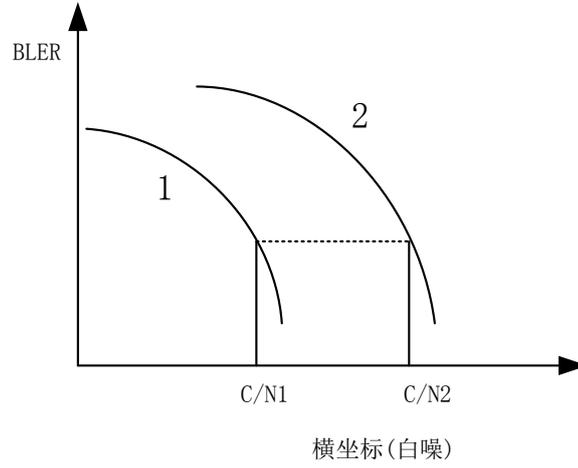


Figure 1. The principle of Quasi - Algorithms
图 1. 拟和算法原理

$$f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1, I_n) = \frac{C_1}{\lambda_1} - \frac{C_2}{\lambda_2} - N_{adj} \quad (11)$$

分别考虑干扰的一次方项，二次方项和三次方项，可以得到：

$$f(\beta_1, \beta_2, I_1, I_n) = \beta_1 * I_1 + \beta_2 * I_2 \quad (12)$$

$$f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5, I_1, I_2) \quad (13)$$

$$= \beta_1 * I_1 + \beta_2 * I_1^2 + \beta_3 * I_1 * I_2 + \beta_4 * I_2 + \beta_5 * I_2^2$$

$$f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9, I_1, I_2) \quad (14)$$

$$= \beta_1 I_1 + \beta_2 I_1^2 + \beta_3 I_1^3 + \beta_4 I_2 + \beta_5 I_2^2$$

$$+ \beta_6 I_2^3 + \beta_7 I_1 I_2 + \beta_8 I_1^2 I_2 + \beta_9 I_1 I_2^2$$

方法 2: 将不参加多用户检测的干扰也赋予不同的 β 因子

则(10)变为：

$$N_1 = N_2 + f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1, I_2, N_{adj}) \quad (10')$$

同样可以讨论干扰 1 次方，2 次方，3 次方项的拟合公式：

$$f(\beta_1, \beta_2, \beta_3, I_1, I_2, N_{adj}) = \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 N_{adj} \quad (11')$$

$$f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6, I_1, I_2, N_{adj}) \quad (12')$$

$$= \beta_1 * I_1 + \beta_2 * I_1^2 + \beta_3 * I_1 * I_2 + \beta_4 * I_2 + \beta_5 * I_2^2 + \beta_6 N_{adj}$$

$$f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{10}, I_1, I_2, N_{adj}) \quad (13')$$

$$= \beta_1 I_1 + \beta_2 I_1^2 + \beta_3 I_1^3 + \beta_4 I_2 + \beta_5 I_2^2 + \beta_6 I_2^3$$

$$+ \beta_7 I_1 I_2 + \beta_8 I_1^2 I_2 + \beta_9 I_1 I_2^2 + \beta_{10} N_{adj}$$

2.3.2. 最小二乘法估计

$$N_1 = N_2 + f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1, I_2, N_{adj}) \quad (\text{这里 } \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n \text{ 为参量})$$

记为： $u = f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1, I_2, N_{adj}) = N_1 - N_2$

假设第 i 次的观察样本为: $I_1^i, I_2^i, N_{adj}, N_1^i, N_2^i$, 令

$$Q = \sum_i \left(f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1^i, I_2^i, N_{adj}^i) - u_i \right)^2 = \text{最小值}$$

利用微分学求极值的方法: 上述的 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 应该满足下面的方程组:

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_i} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

2.3.3. 带权重的最小二乘法

在实际的网络规划中, 考察每种场景出现的概率为 p_i , 此时 Q 定义为:

$$Q = \sum_i p_i \left(f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, I_1^i, I_2^i, N_{adj}^i) - u_i \right)^2 = \text{最小值}$$

利用微分学求极值的方法: 上述的 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 应该满足下面的方程组:

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_i} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

如果将权重写成对角矩阵的形式, 就可以得到加权最小二乘法的最优矩阵解。

$$\text{若: } Q = (U - A\beta)^T P (U - A\beta)$$

$$\text{则: } \beta^* = (A^T P A)^{-1} A^T P U$$

3. 公共信道链路预算流程

公共信道链路预算流程, 如图 2 所示。

4. 拟和实例

4.1. 链路仿真提取 β 值

例如, 1PCCPCH+1FACH UE 接收 BCH 时受干扰的场景的划分:

本区干扰功率范围[-6 0 6 12], 邻区功率范围: [-6 0 6 12], 白噪声[-6 -3 0]。全排列 $4 \times 4 \times 3 = 48$ 个场景, 当本区或者相邻检测小区干扰有 12dB 的时候, 估计白噪声影响不大, 只保留一个(即下表中相邻 3 个颜色相同的只留一个), 所以总共 34 个场景。单小区的 BCH 下的仿真曲线如图 3 所示。

4.2. 拟合实例

针对上述仿真场景, 在链路仿真中不参与多用户检测的没有当成白噪声处理(不同场景下当成白噪声与否性能差别从 1dB 到几 dB 不等), 故这里按照方法 2 的方式进行拟合。

1) 干扰最高项为一次项

可以用(11')与(12')联立方程组求解。其中干扰向量 I_1, I_2, N_{adj} 组成矩阵 A , $\frac{1}{\lambda_{\text{单用户}}} - \frac{1}{\lambda_2}$ 组成矩阵 U ,

其中 $\lambda_{\text{单用户}}$ 为单个用户的解调门限, 对 BCH 取 -5 dB, FACH 取 -6 dB。 λ_2 为用户解调门限。

计算得到:

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0147 \\ 0.1545 \\ 6.9842 \end{pmatrix}$$

对高次方的拟和结果这里不再赘述。

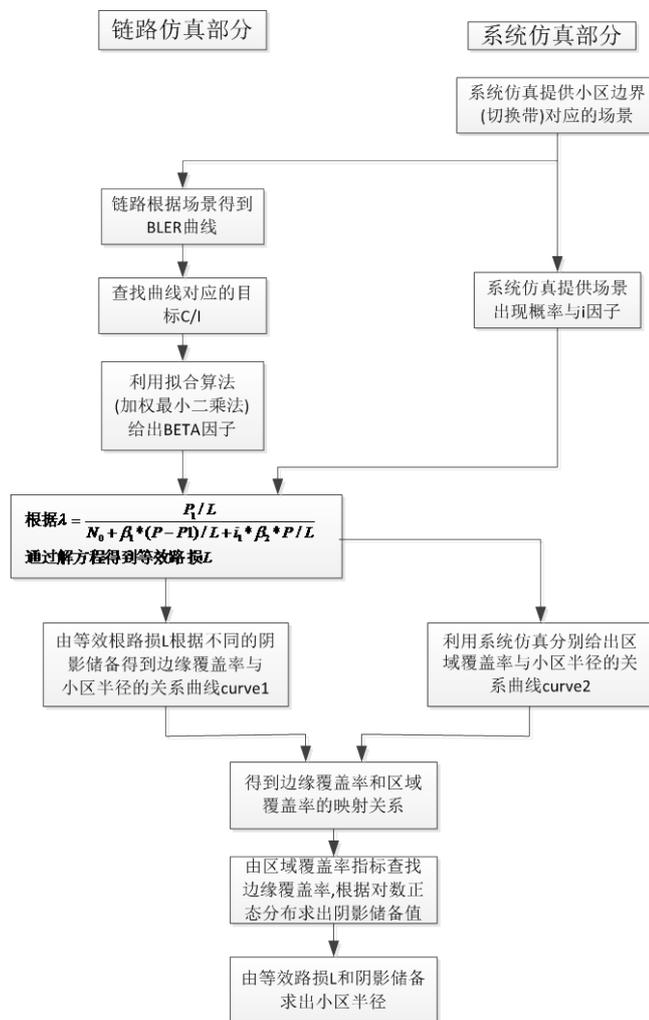


Figure 2. Common channel link budget flow chart
图 2. 公共信道链路预算流程图

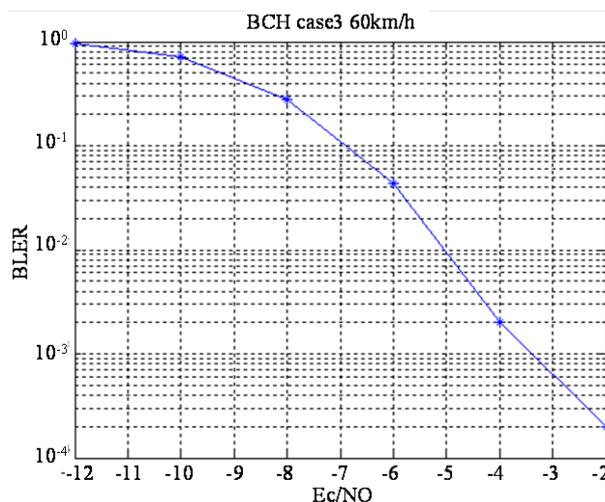


Figure 3. BCH error rate and demodulation threshold
图 3. BCH 误块率和解调门限的关系

4.3. 曲线拟合的精度分析

根据拟合出的结果, 用 4.1 中的其他场景进行验证, 找出误差最小的拟合向量:

$$\frac{1}{\text{Num_case}} \left(\sum_{\text{case}} \left(f(\beta, I_1, I_2) - (N_1 - N_2 - N_{\text{adj}}) \right)^2 \right)^{1/2} \quad \text{或}$$

$$\frac{1}{\text{Num_case}} \left(\sum_{\text{case}} \left(f(\beta, I_1, I_2, N_{\text{adj}}) - (N_1 - N_2) \right)^2 \right)^{1/2}$$

分别求出上述 3 种拟合方式的误差为: 0.2521, 0.1050, 0.0202。

可见, 三种情况的累积误差(1) > (2) > (3), 这与高次方项的拟合精度高有关系。三者差别并不大, 最终可以与系统仿真的 i 因子一起评估。

4.4. 系统仿真提取 i 因子

i 因子用于评估邻区干扰与本小区干扰之比。最新结果对小区边缘进行仿真。

定义如下:

- 1) 参加检测的邻区干扰总功率/本小区信号总功率(信号 + 干扰)得到 i_1 ;
- 2) 参加检测的邻区干扰总功率/本小区信号总功率(信号 + 干扰)得到 i_2 。

通过系统仿真的 CDF 曲线, 我们可以得到相应的 i 因子。

4.5. 应用 β 因子 i 因子进行链路预算

在链路预算中, 取本区 BCH 的等效全向辐射功率(EIRP)[dB·m]为 52 dB·m。实际的网络中, FACH 功率比 BCH 功率低 3 dB, 热噪声谱密度为 -174 dB·m/Hz, 噪声系数取值 7 dB, 有:

$$P_1 = 52 \text{ dB} \cdot \text{m}, \quad P_2 = 49 \text{ dB} \cdot \text{m}$$

$$N_0 = -174 + 10 \log_{10} (1.28 \times 10^6 + 7) \text{ dB} \cdot \text{m} = -106 \text{ dB} \cdot \text{m}$$

$$\lambda N_0 = -2 - 106 = -108 \text{ dB} \cdot \text{m} \quad (\text{这里 } \lambda \text{ 按照 2 码片折算, 为 } -2 \text{ dB}).$$

为简化起见这里仅给出线性拟合方法:

$$\lambda = \frac{\frac{P_1}{L}}{N_0 + \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 N_{\text{adj}}}$$

$$L = \frac{P_1 - \lambda \beta_1 P_2 - i \lambda \beta_2 (P_1 + P_2)}{\lambda N_0 + \lambda \beta_3 N_{\text{adj}}}$$

$$= \frac{\frac{P_1}{L}}{N_0 + \beta_1 \frac{P_2}{L} + i \beta_2 \frac{P_1 + P_2}{L} + \beta_3 N_{\text{adj}}}$$

进一步, 邻区非检测小区也引入 i 因子, 可以得到:

$$\lambda = \frac{\frac{P_1}{L}}{N_0 + \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 N_{\text{adj}}}$$

$$= \frac{\frac{P_1}{L}}{N_0 + \beta_1 \frac{P_2}{L} + i_1 \beta_2 \frac{P_1 + P_2}{L} + i_2 \beta_3 \frac{P_1 + P_2}{L}}$$

$$L = \frac{P_1 - \lambda \beta_1 P_2 - (i_1 \lambda \beta_2 + i_2 \lambda \beta_3) (P_1 + P_2)}{\lambda N_0}$$

5.5M 组网下 BCH 仿真结果

对于 TD 模式下 NOMA(非正交多址)情况进行仿真[4] [5] [6]:

密集市区: $L = 140.09 + 34.21 \log_{10}(R)$

普通城区: $L = 137.45 + 35.33 \log_{10}(R)$

郊区: $L = 126.14 + 25.63 \log_{10}(R)$

8 天线最大发射功率: 33 dBm

我们按照第一种方法计算出不同环境的路损与小区半径(边缘覆盖率按 75% 计算)。

密集市区	最大允许路损	148.7646
	小区半径	1.793
普通城区	最大允许路损	150.1136
	小区半径	2.2826
郊区	最大允许路损	151.4626
	小区半径	9.7276

干扰提升按下面的式子计算:

$$\eta = \frac{N_0 + \beta_1 \frac{P_2}{L} + i_1 \beta_2 \frac{P_1 + P_2}{L} + i_2 \beta_3 \frac{P_1 + P_2}{L}}{N_0} \quad (15)$$

其中 L 为等效路损。对于第一种方法 BCH 信道的干扰提升计算值: 1.5454。

BCH 边缘覆盖率和小区半径的关系, 如图 4 所示。

6. 阴影储备值的计算

按照图 2 公共信道链路预算的流程, 下面分为如下几步:

- 1) 得到小区半径和边缘覆盖率之间的关系; 以及小区半径和区域覆盖率之间的关系。
- 2) 得到边缘覆盖率和区域覆盖率之间的映射关系。

根据区域覆盖率查边缘覆盖率, 求出阴影储备, 由等效路损和阴影储备求出小区半径。

通过仿真, 我们得到小区边缘覆盖率和区域覆盖率之间的对应关系曲线如图 5、图 6 所示。

通过区域覆盖率和边缘覆盖率与小区半径的关系我们可以仿真得到两者之间的映射关系。

在理论上阴影衰落余量取决于覆盖概率和阴影衰落标准差, 对于全向站小区理论上计算公式为:

- 1) 边缘覆盖效率

达到指定边缘覆盖概率所需的阴影衰落余量为

$$P_{x_0} = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{M}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (16)$$

$M = \bar{x} - x_0$ 是衰落余量

- 2) 面积覆盖效率

$$P_a = \frac{1}{2} \times \left[1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1-2ab}{b^2}\right) \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1-ab}{b}\right) \right) \right]$$

其中: $a = \frac{-M}{\sigma\sqrt{2}}$; $b = \frac{10\mu \lg e}{\sigma\sqrt{2}}$, μ 为路径损耗指数(取 3), σ 为阴影衰落标准差(取 8)。图 7 是计算结果。

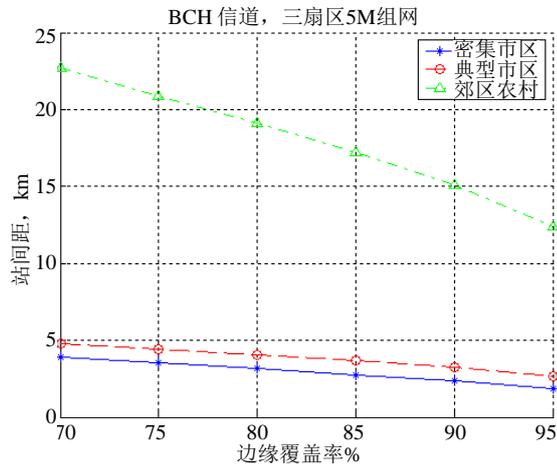


Figure 4. BCH edge coverage and cell radius
图 4. BCH 边缘覆盖率和小区半径的关系

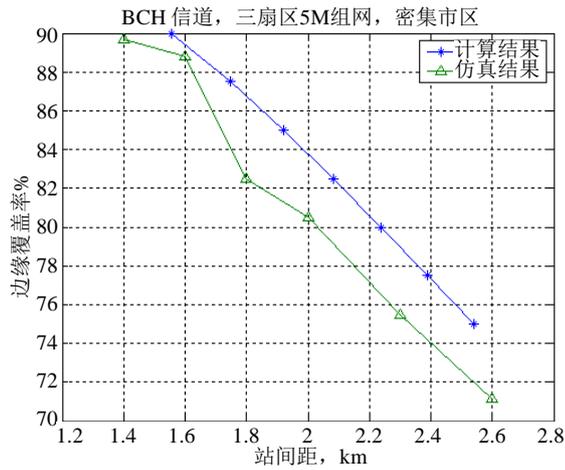


Figure 5. The relationship of edge coverage and cell radius for BCH-density urban area (calculation values and simulation values)
图 5. BCH 密集市区边缘覆盖率和小区半径关系(计算值和仿真值)

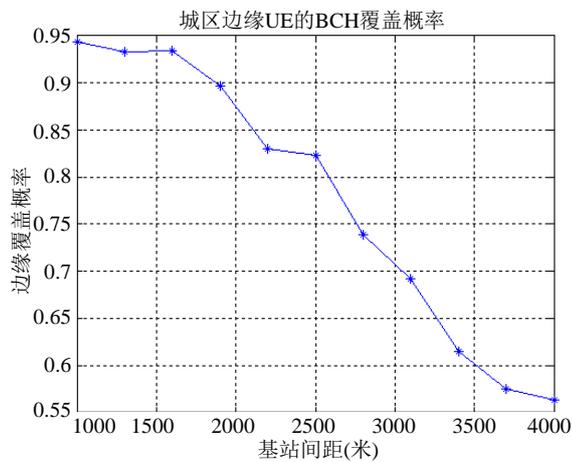


Figure 6. The relationship between urban edge coverage and base station spacing
图 6. 市区边缘覆盖率和基站间距的关系

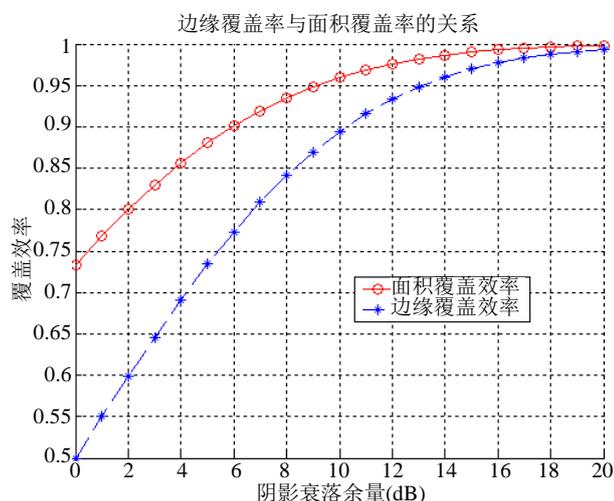


Figure 7. Theoretical results on the relationship between edge coverage and area coverage

图 7. 边缘覆盖率与区域覆盖率关系的理论计算结果

对于上面的仿真结果，在密集市区，BCH 信道的区域覆盖率为 0.86，查图表可得边缘覆盖率为 0.8，对应的小区覆盖半径为 2 km (直接查表得到)。按照流程计算阴影储备值为 8.42，等效路损是 139.11，通过等效路损和阴影储备算出实际路损 151.0933，从而计算出小区半径 2.0972。这个值和直接查表是相符合的。

与现有网络网络规划的小区覆盖半径相比[6] [7] [8] [9] [10]，本文论述方法也能适用于 3G/4G 的网络覆盖计算。

7. 结论

根据计算和仿真的结果看，采用校正后传播模型计算的等效路径损耗和实际路损与实际情况比较吻合。本文采用了多项式拟和的方法，在 BCH 信道下三种方法计算结果差距都在容许范围，FACH 信道只采用了一次方拟和。从计算结果看，一次方拟和计算复杂度较低，也有足够的精度，因此以后的计算中可以采用一次方拟和。采用等效路损计算的 BCH 信道和 FACH 信道的干扰提升分别为 1.5454 dB 和 1.4328 dB，这个值比业务信道取 3 dB 小。采用等效路损计算的干扰储备在密集市区、市区、郊区是相同的。本文给出了边缘覆盖率和小区半径的关系，以及边缘覆盖率和区域覆盖率的映射关系，可以通过查表查曲线直接得到要求区域覆盖率下的小区半径，也可以通过本文介绍的方法计算阴影储备值后计算得到小区半径。

参考文献 (References)

- [1] Lin, X.E., Li, Q., Oyman, O. and Yin, H. (2013) Reducing Co-Channel Interference. US Patent.
- [2] Nikitin, A.V. and Davidchack, R.L. (2015) Out-of-Band and Adjacent-Channel Interference Reduction by Analog Nonlinear Filters. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 15 February 2015. <https://doi.org/10.1186/s13634-015-0202-5>
- [3] 沈洁, 任强. 一种确定小区覆盖半径的方法及装置[P]. 中国, 发明专利, CN101374026. 2009-02-25.
- [4] 沈洁. 一种多用户检测干扰消除性能评估的方法及装置[P]. 中国, 发明专利, CN101373985. 2009-02-25.
- [5] 褚红发, 蔡月民, 沈洁. 一种通过公共信道确定小区范围的方法及装置[P]. 中国, 发明专利, CN101369822. 2009-02-18.
- [6] 冯大权. D2D 通信无线资源分配研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2015

- [7] 朱裔晗. 基于 TD-LTE 蜂窝网络的覆盖规划及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- [8] 徐锋. 广西联通 GSM/WCDMA 网络性能优化方法及其应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广西大学, 2014.
- [9] 殷丹. 异构无线网络资源管理与联合接纳控制研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [10] 黄家骥. 连云港居民小区 TD-LTE 网络深度覆盖优化[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2014.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjwc@hanspub.org