

文章编号: 1001-8361(2014)07-0070-04

# 基于沙漠环境的铁路 GSM-R 系统传播模型研究

徐 岩, 严星涛

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 沙漠中的沙尘暴或风沙天气对无线通信有重要的影响, 随着我国越来越多的高速铁路沙漠中建成, 研究在沙尘暴、沙尘天气下 GSM-R 通信系统的传播模型对于保证 GSM-R 通信的安全和稳定有十分重要的意义。本文结合太原-中卫-银川铁路毛乌素沙漠南端定边至银川区段 GSM-R 通信系统, 对沙漠环境沙尘粒子的散射产生的路径损耗进行了分析, 将传统路径损耗模型与实际测量数据进行了误差研究, 对路径损耗模型的参数因子进行了调整和优化, 通过仿真实验与结果的分析, 证明该改进模型能更加逼近实际测量数据。

**关键词:** 铁路移动通信系统; 沙漠环境; 路径损耗; 散射

**中图分类号:** U929.5    **文献标志码:** A    doi:10.3969/j.issn.1001-8360.2014.07.011

## Research on GSM-R System Propagation Model of Railways in the Desert Environment

XU Yan, YAN Xing-tao

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Sand storms and windy & dusty weather in desert areas have important influence on wireless communication. As more and more high-speed railway lines have been built in desert areas in our country, research on the GSM-R propagation model of communication systems in the sand storm and windy & dusty climate has very vital significance to ensure the safety and stability of railway communication systems. In this paper, with reference the GSM-R communication system of the Dingbian-Yinchuan section of the Taiyuan-Zhongwei-yinchuan Railway located at the south end of the Maowusu Desert, the path losses generated due to scattering of dust & sand particles were analyzed, errors were studied in comparison between the traditional path loss model and actual measured data, and the error parameters factor of the path loss model was adjusted and optimized. The simulation experiments and results prove that the improved pass loss model is more approximate to the actual measured data.

**Key words:** GSM-R; desert environment; path loss; scattering

在我国目前开通或即将开通的铁路客运专线中, 许多线路都要穿越长大隧道、沙漠、戈壁等地理环境比较复杂的区域, 以太中银铁路为例, 它穿过了毛乌素沙漠的最南段, 该地区四季气候恶劣, 夏季高温炎热, 酷暑难耐; 冬季天寒地冻, 风沙弥漫, 为极端气候的典型代表, 全区流沙面积达 1.38 万平方公里, 包括内蒙古自治区的南部, 陕西榆林地区的北部风沙区和宁夏回族自治区盐池县东北部。沙区向东南过渡主要为黄土

高原地带, 以风沙土为主; 流动沙地干沙层变化约 7~16 cm, 最高达 27 cm, 干沙以下水分含量约 3%~11%<sup>[1]</sup>。由于沙漠地区沙尘粒子电磁散射的原因, GSM-R 通信信号会发生不同常规的传播损耗, 严重情况下可能会导致无线通信信道在传播过程中出现短暂的通信中断现象, 这种情况给列车运营带来较大的安全隐患, 因此对沙漠环境下的 GSM-R 电磁传播模型进行研究, 具有重要的理论和实际意义。

收稿日期: 2013-10-28; 修回日期: 2014-01-22

作者简介: 徐岩(1963—), 男, 江苏南通人, 硕士, 教授。

E-mail: xuyan@mail.lzjtu.cn

## 1 沙尘粒子尺寸分布函数

不同地区沙尘粒子的成分和尺寸大小均不同,例如在我国西北地区分布的沙漠地带的粒径就稍微偏大一些,其主体粒子的粒径大约在 0.01 mm~0.25 mm 之内。相比较而言,中东部地区,粒子直径较小。风速也是沙尘暴中粒子的粒径分布影响因素之一,不同风速能够吹起不同粒径大小的沙粒。除此之外,取样的高度也是影响粒径分布的因素之一,取样高度的不同就会得到不同的粒径分布数据结果。再者,在沙尘暴的不同的阶段,如起爆、爆中、爆尾等阶段,沙尘粒径的分布也会不同,因而需要对沙尘粒子的尺寸分布函数进行研究。

通过对毛乌苏沙漠和沿黄河地区沙漠沙尘暴发生时沙尘粒子的尺寸分布的调研,建立了正态分布函数下的沙尘粒子尺寸分布函数<sup>[2]</sup>

$$p(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}D\sigma} \text{EXP}\left(-\frac{(\ln D - m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中: $D$ 为沙尘粒子的半径; $\ln D$ 的均值和标准偏差分别为  $m$  和  $\sigma$ 。

## 2 无线通信路径损耗模型

当电磁波在空间传播时,由于地理环境和地面物体分布不同,常常在这些地区出现电磁波传播的阴影区,从而引起大尺度衰落的发生,主要体现在很长的时间周期和距离范围内幅度发生较大的变化<sup>[3]</sup>。另一方面,如果移动台穿过这些地表环境比较复杂的地区时,电磁波在比自身波长还要小的介质里面穿行,而且该介质在单位空间内的数目非常巨大,会给电磁波的传播发生较大的阻碍,引起散射。小尺度衰落主要是由于散射引起的,随着波动深度变化的同时幅度也在变化<sup>[4]</sup>。往往在计算这类损耗时,采用一些经典的路径损耗模型公式近似计算,这些公式都是通过实际场强测试的结果建立的。通过对几种路径损耗模型与实际数据的比较,WIM(COST231-WALFISH-IKEGAM)模型其参数的有效范围为载波频率为 0.8~2 GHz<sup>[5]</sup>,发射有效天线高度为 4~50 m,接收有效天线高度为 1~5 m,移动台天线和基站天线的水平距离为 0.02~5 km,能够在很大范围内与铁路 GSM-R 基站及列车所处的环境相类似,而且该模型的郊外地区模型比较适合所研究地区的沙尘粒子散射,因此限于篇幅本文重点对 WIM 模型路径损耗进行分析,WIM 路径损耗模型的适用条件和主要参数见表 1 和表 2。

表 1 模型的适用条件和主要参数

参数	数值	参数	数值
频率 $f/\text{MHz}$	800~2 000	基站高度 $H_b/\text{m}$	4~50
移动台高度 $H_m/\text{m}$	1~4	距离 $d/\text{km}$	0.02~5

表 2 GSM-R 900MHz 的 WIM 模型路径损耗参数

参数	数值	参数	数值
道路宽度 $W/\text{m}$	20	$H_{\text{roof}}/\text{m}$	15
$H_b/\text{m}$	17	$H_m/\text{m}$	1.5
$\text{Phi}/(^{\circ})$	90	建筑物间隔 $b/\text{m}$	40
路径损耗/dB	$132.28 + 38\log_2 d$		

移动台和基站之间不存在视距传播时的传播损耗为

$$L_b = L_0 + L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \quad (2)$$

当  $L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} < 0$  时,  $L_b = L_0$ 。

自由空间的损耗为

$$L_0 = 32.4 + 20\log_2 d + 20\log_2 f \quad (3)$$

从屋顶到街道的绕射和散射损耗为

$$L_{\text{rts}} = -16.9 - 10\log_2 W + 10\log_2 f + 20\log_2 (H_r - H_m) + L_{\text{crt}} \quad (4)$$

式中:

$$L_{\text{crt}} = -10 + 0.354\text{Phi} \quad 0 \leq \text{Phi} < 35^{\circ} \quad (5)$$

$$L_{\text{crt}} = 2.5 + 0.075(\text{Phi} - 35) \quad 35^{\circ} \leq \text{Phi} < 55^{\circ} \quad (6)$$

$$L_{\text{crt}} = 4.0 + 0.114(\text{Phi} - 55) \quad 55^{\circ} \leq \text{Phi} < 90^{\circ} \quad (7)$$

其中, $f$ 为基站发射频率; $\text{Phi}$ 为相对直接无线路径的道路方向性, $(^{\circ})$ 。

多屏绕射损耗为

$$L_{\text{msd}} = L_{\text{bsh}} + ka + kd \times \log_2 f - 9 \times \log_2 b \quad (8)$$

式中:

$$L_{\text{bsh}} = -18 \log_2 (1 + H_b - H_{\text{roof}}) \quad (9)$$

$$ka = \begin{cases} 54 & H_b > H_{\text{roof}} \\ 54 - 0.8 \times (H_b - H_{\text{roof}}) & d \geq 0.5 \text{ 且 } H_b \leq H_{\text{roof}} \\ 54 - 0.8 \times (H_b - H_{\text{roof}}) \times (d/0.5) & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

$$kd = \begin{cases} 18 & H_b > H_{\text{roof}} \\ 18 - 15 \times (H_b - H_{\text{roof}})/H_{\text{roof}} & H_b \leq H_{\text{roof}} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $H_{\text{roof}}$ 为建筑物屋顶高度,m。

对中等规模城市和植被覆盖密度适中的郊外中心

$$kf = -4 + 0.7 \times (f/925 - 1) \quad (12)$$

对于大城市中心

$$kf = -4 + 1.5 \times (f/925 - 1) \quad (13)$$

移动台和基站之间存在视距传播路径(街道狭长区)

$$L_b = 42.6 + 26 \times \log_2 d + 20 \times \log_2 f$$

$$d \geq 0.02 \text{ km} \quad (14)$$

### 3 路径损耗模型的误差分析

根据太中银客运专线上基站的配置以及陕西北部沙漠的地理环境,选取太中银客运线定边至银川段检测车运行时得到的实测数据作为实验数据源,提取了公里标为 70.2~73.6 km 间的场强数据,公里标为 73.4 km 是基站所处的位置。经过对原始数据的抽取、转化后,提取每隔 0.1 km 的场强值作为实验数据,绘制成数据表见表 3。

表 3 定边至银川段实测场强数据

公里标位置 /km	实测场强 /(dBm)	公里标位置 /km	实测场强 /(dBm)	公里标位置 /km	实测场强 /(dBm)
70.2	-83.5	71.4	-71.8	72.6	-70.3
70.3	-84.6	71.5	-72.4	72.7	-74.1
70.4	-85.3	71.6	-62.6	72.8	-74.4
70.5	-79.7	71.7	-71.8	72.9	-55.6
70.6	-78.3	71.8	-68.4	73.0	-56.7
70.7	-74.2	71.9	-69.2	73.1	-58.5
70.8	-75.5	72.0	-65.4	73.2	-64.2
70.9	-73.1	72.1	-66.3	73.3	-54.8
71.0	-72.2	72.2	-66.1	73.4	-49.4
71.1	-71.4	72.3	-66.6	73.5	-46.5
71.2	-70.5	72.4	-58.7	73.6	-51.2
71.3	-70.2	72.5	-60.2		

在仿真时,根据现场实际环境,发射功率为 10 W,基站的发射频率为 930.4 MHz,铁轨与基站的距离为

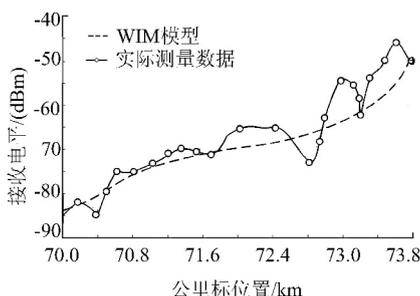


图 1 WIM 模型与实际测量数据比较

40 m,移动台的天线高度为 4 m;仿真结果见图 1。从

图 1 可以看出,在移动台远离基站的场强预测结果与实际测量数据很接近,但是在移动台靠近基站时预测的偏离值较高,考虑到铁路 GSM-R 在沙漠环境中面临的复杂情况,路径模型的改进显得尤为重要。

### 4 改进的 WIM 路径损耗模型及仿真

尽管利用数学模型得到的数据或者预测值在现实应用中与实际测量的场强值一定会有差别,但是如果能将数学模型得到的预测值,与实际测量数据尽可能的缩小,也能对铁路 GSM-R 通信系统在沙漠环境中运行时起到一定的保障和参考作用。

由 WIM 路径损耗模型的损耗功率公式可以看出,电磁波的路径损耗功率是移动台到基站的距离  $d_0$  的相关函数,因此本方法在 WIM 路径损耗模型基础上,通过增加与  $d_0$  相关的修正因子  $D_0$ ,结合 GSM-R 电磁波损耗特点,得到改进的公式为

$$L_b = 42.6 + 20\lg(h_m h_b) + 26\lg d_0 + 30\lg f + D_0 \quad (15)$$

式中: $D_0$ 为移动台到基站距离修正因子; $h_b$ 为基站的的天线高度; $h_m$ 为移动台的天线高度; $d_0$ 为移动台到基站的距离,km。

当铁路 GSM-R 通信系统运行在不同的环境中时,修正因子  $D_0$ 的取值与沙尘粒子的半径和分布密切相关,应与环境因素相对应调整。当郊外空气质量较好,无风沙天气时, $D_0$ 变化不大,与基本公式相符;但是当发生沙尘暴或沙丘分布比较密集时, $D_0$ 的取值会相应变大,下面采用 Matlab 数据中最小二乘法将曲线进行拟合,并对公式中的  $D_0$ 求解。

常用的现场优化工具主要包括<sup>[6]</sup>

(1) 场强测试仪:路测时查看 GSM-R 网络覆盖的信号强度。

(2) 频谱分析仪:干扰现象发生时,寻找电磁波干扰源。

(3) OMC-R 分析工具:主要是将基站统计数据用操作维护子系统进行分析。

(4) 接口监控工具:分别对 A 接口、Abis 接口、PRI 接口的信令进行监测,统计以后作为主要的分析数据。

(5) 信令分析仪:通过采集来自不同接口和信道的网络信令数据,并对其进行解码,然后进行人工分析。

计算步骤如下:

**Step1** 把实际路测得到的接收电平值与 WIM 模型中计算出的各点的值进行求差计算;

**Step2** 根据不同的变化参数,把式(15)中的多项式函数通过差值计算,尽可能的逼近每个差值点;

**Step3** 因为式(15)中的多项式函数的系数和参数不断的变化,可以计算出多项式方程每个点和差值点之间的差,并求得平方和,最后再以平方和的最小函数看作  $D_0$  的表达式。

代入实测数据采用 Matlab 计算后,将多项式(15)进行一次多项式修正,修正因子  $D_0$  的表达式为

$$D_0 = 2.73d_0 + 8.05 \quad (16)$$

仿真结果见图 2。从图 2 可以看出,虽然在离基站较远的距离改进的 WIM 模型与实际测量数据能够比较的接近;在大约 2 个基站的中间点距离附近,应该是 2 个基站由于冗余结构接收电平功率最高的点,但是模型的值偏离实际测量值较远,一次多项式还需要再进行改进。

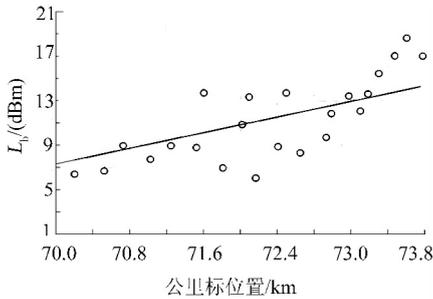


图 2 一次多项式修正曲线图

经过三次多项式改进以后的 WIM 模型为

$$D_0 = A_1 d_0^3 + A_2 d_0^2 + A_3 d_0 + A_4 \quad (17)$$

根据 Step3 进行计算,分别得到  $A_1 = 3.2, A_2 = 12.5, A_3 = 15.7, A_4 = 5.1$ ,仿真结果见图 3。

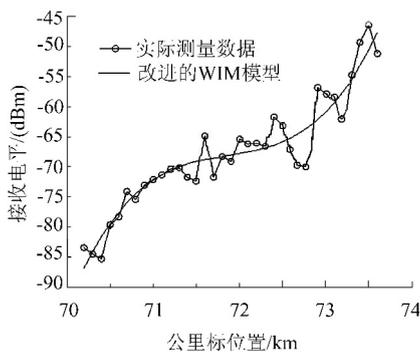


图 3 修正后的模型与实测数据比较

## 5 结束语

将改进的 WIM 路径损耗模型进行三次多项式修正后,在离基站较远的地方,模型与实际测量的数据也变得很接近;而且 2 个基站的中间距离附近,改进的 WIM 的模型与实际测量数据的值也比一次多项式修改后的值更加的接近实际测量数据。结果表明,采用多项式改进的方法,能够使模型曲线更加的逼近实际测量数据曲线。因此当列车运行在沙漠环境时,通过调节多项式中修正因子  $D_0$ ,使得得到的接收电平的功率值更加精确,下一步研究的目标是利用该传播模型对 GSM-R 通信中的小区重选过程进行优化,以提高通话接入率,保证沙漠环境下 GSM-R 通信系统的畅通。

### 参考文献:

- [1] 郭峰,陈振峰.毛乌苏沙漠南缘生态防护体系探讨-以新建太中银铁路为例[J].水土保持研究,2007,(3):42-45.  
GUO Feng, CHEN Zhen-feng. Discussion of Ecological Protective System in Sand land-the Case of Taizhongyin Railway[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007,(3):42-45.
- [2] 钱正安.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997.
- [3] 冯业浩,郑敏,卜智勇,等.高速铁路环境下的无线信道建模与仿真[J].计算机应用与软件,2013,30(3):96-100.  
FENG Ye-hao, Zheng Min, Bu Zhi-yong, et al. Modelling and Simulating Radio Channel in High-speed Rail Environment[J]. Computer Application and Software, 2013, 30(3): 96-100.
- [4] 蔺伟,沈京川,李辉.高速铁路电波小尺度衰落特性分析[J].中国铁道科学,2004,25(3):97-102.  
LIN Wei, SHEN Jing-chuan, LI Hui. Radio Small-scale Fading Around High-speed Railway[J]. China Railway Science, 2004, 25(3): 97-102.
- [5] 谢益溪.无线电波传播原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [6] 李航,刘宏志.基于 ESPI 的 GSM-R 场强数据采集系统的设计与实现[J].北京工商大学学报,2009,5(3):51-55.  
LI Hang, LIU Hong-zhi. Design and Realization of Field-strength Data Acquisition System for GSM-R Based on ESPI [J]. Journal of Beijing Technogy and Business University, 2009, 5(3): 51-55.

(责任编辑 江 峰)