

文章编号:1671-1637(2014)06-0117-10

山区航道 AIS 信号场强分布特性

初秀民¹, 刘 潼¹, 马 枫¹, 刘兴龙¹, 钟 鸣²

(1. 武汉理工大学 水路公路交通安全控制与装备教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430070;

2. 新不伦瑞克大学 土木工程系, 新不伦瑞克 弗雷德里顿 E3B 5A3)

摘 要:船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)在内河应用中,由于山区遮挡产生大量的信号盲区,使其效用受限,使用 Okumura-Hata 模型研究了 AIS 通信系统在这些地区的可靠性。在长江三峡坝区航段上基于坝河口、石碑、西坝 3 个基站设置了 29 个测点,其中山区地带为 13 个测点,开阔地带为 16 个测点。测量了所有测点的实际场强,并与理论场强进行对比分析。使用线性回归法对 Okumura-Hata 模型的修正参数进行优化,计算了山区地带 13 个测点和开阔地带 16 个测点中距离大于 2.9 km 的 9 个测点的修正场强。为验证修正模型的准确性,在重庆永川航段设置 6 个测点进行验证试验。分析结果表明:AIS 信号在传播过程中 3 km 为临界距离,AIS 信号传播距离小于 3 km 时,曲线较平缓,信号较好,传播距离大于 3 km 时,曲线较陡峭,信号质量急剧变差。Okumura-Hata 模型计算的理论场强与实际场强分布趋势吻合,但在具体数值上存在差距。验证试验中 6 个测点的实际场强平均值为 -106.636 dBm,理论场强平均值为 -100.982 dBm,修正场强平均值为 -107.710 dBm,Okumura-Hata 模型计算结果的平均误差为 5.654 dBm,平均准确率为 94.615%,修正模型计算结果的平均误差为 1.071 dBm,平均准确率为 98.329%。

关键词:交通信息工程;山区航道;船舶自动识别系统;线性回归;Okumura-Hata 模型;场强

中图分类号:U675.7

文献标志码:A

Distribution characteristic of AIS signal field intensity along mountainous waterway

CHU Xiu-min¹, LIU Tong¹, MA Feng¹, LIU Xing-long¹, ZHONG Ming²

(1. Engineering Research Center for Transportation Safety of Ministry of Education, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Department of Civil Engineering, University of New Brunswick, Fredericton E3B 5A3, New Brunswick, Canada)

Abstract: Due to the shadowing effect of AIS mountains signals, there were many blind areas along mountainous waterways limiting the application of AIS. Okumura-Hata model was used to study the reliability of AIS communication system in those areas. 29 test points, which were primarily served by three base stations at Bahekou, Shipai, and Xiba located along the Three Gorges Dam segment, were set. Among the 29 test points, 13 test points were in mountainous areas and 16 test points were in open areas. The actual field intensities of the 29 test points were measured and compared with theoretical field intensities. A linear regression model was used to optimize the corrected parameter of Okumura-Hata model. The correcting field intensities at the 13 test points in mountainous areas and at 9 out of 16 test points in open areas, having a distance

收稿日期:2014-07-03

基金项目:国家自然科学基金项目(61273234);交通运输部信息化技术研究项目(2013-364-548-200);武汉理工大学自主创新研究基金项目(2014-zy-074)

作者简介:初秀民(1969-),男,吉林通化人,武汉理工大学研究员,工学博士,从事交通信息智能化技术研究。

greater than 2.9 km from the base stations, were calculated. In order to verify the correctness of modified model, verification test was carried out for 6 test points along Chongqing—Yongchuan segment. Analysis result indicates that a distance of 3 km is a critical threshold for AIS signal transmission. When the propagation distance is less than 3 km, the AIS signal is good and the AIS field intensity curve is smooth. However, when the propagation distance is more than 3 km, the AIS signal quality reduces sharply and the curve is steep. The distribution trend of theoretical field intensity calculated by Okumura-Hata model is consistent with that of actual field intensity, but there are still gaps between the theoretical values and the actual values. In verification test, the average values of actual field intensity, theoretical field intensity, and correcting field intensity at 6 test points are -106.636 , -100.982 , -107.710 dBm, respectively. The average error and precision rate of calculated result of Okumura-Hata model are 5.654 dBm and 94.615% respectively, and the values of correcting model are 1.071 dBm and 98.329% respectively. 4 tabs, 14 figs, 20 refs.

Key words: traffic information engineering; mountainous waterway; AIS; linear regression; Okumura-Hata model; field intensity

Author resume: CHU Xiu-min(1969-), male, researcher, PhD, +86-27-86581899, chuxm@whut.edu.cn.

0 引 言

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)是工作于海事 161.975、162.025 MHz 两个频点,用于船舶定位与导航的无线电通讯系统,由基站、船载设备与 AIS 航标设备共同组成。AIS 作为一种新型的数字助航系统和设备,自 2008 年以来逐渐进入内河应用领域,2010 年被中国指定为内河航行必备设备^[1]。目前,中国交通运输部已经分别在渤海湾、长江口、珠江口、琼州海峡和长江干线等地建立了 AIS 基站。随着 AIS 在长江上的逐步使用,其在内河水域中的应用将进一步推广,以实现长江航道的覆盖。

AIS 进入内河海事应用领域,成为一种有效的海事监管工具,但其效用仍面临诸多考验:首先,内河航道狭窄,使得 AIS 通讯联络变得不稳定;其次,内河航道地形多变且不连续,同时陆地的无线电设备密度大,易对 AIS 产生干扰^[2]。目前,在三峡坝区等地内河山区航道布设 AIS 基站后,存在大量信号盲区,若消除这些信号盲区,则需优化布设内河 AIS 基站,因此,需要建立 AIS 信号在内河航道的场强分布模型。

作为甚高频(Very High Frequency, VHF)频段的通讯系统,AIS 信号衰减遵循无线电通讯的固有规律,定量描述其极限距离、干扰可靠性、天气和地形干扰等将为 AIS 基站布设提供基础^[3]。国际

航标协会(International Association of Lighthouse Authorities, IALA)于 2002 年 12 月公布了《通用自动识别系统指导方针》,就 AIS 覆盖距离应用了 IMO R-A 关于 A1 海区的概念。严格意义上,应以 AIS 信号误包率作为判断 AIS 覆盖范围的标准。根据 ITU-RM.1371 协议的规定,AIS 有效灵敏度为:在信号场强为 107 dBm 时,接收机的误包率不高于 20%。中国对无线电传播的计算以 GB/T 14617.1—1993 模型为标准,以经典 Okumura-Hata 模型为基础,扩展了传播路径,引入建筑物密度等修正因子,是理论与经验相结合的模型,但并不确定山区地带路径修正因子。

作为一类新型的海事通讯系统,国外主要通过与其他海事管理手段的结合对 AIS 进行研究,如 Vesecky 等在 AIS 应用中提出将卫星 AIS 接收机与地面波雷达结合起来,实现对海域经济专属区域的综合监控^[4-5]。可见对于 AIS 这一有效的探测工具,只有具备更大的探测距离,才能支持区域性的海事综合管理,但对于内河 AIS 的使用并没有深入研究。

中国对于 AIS 通信的研究主要集中在使用纯软件的方法进行仿真,讨论 AIS 链路的网络性能、基站通讯的不确定性、AIS 与雷达的信息融合等;马枫等研究了 AIS 基站的短消息特征,分析了 AIS 信号失效与场强的相关性,设计了一种半实物仿真研究方法,模拟任意场强与干扰特征的 AIS 信号,采

用真实的接收机评估误包率,并建立了场强与距离的对应模型,用于仿真 AIS 网络实际运行中可能遇到的地形衰减与各种常见干扰,提出了拥挤航道下 AIS 基站向船舶发送短消息的极限容量^[6-8];宋成果使用 AIS 数据作为虚拟航标布设中的量化参数进行仿真^[9],具有很高的真实性,能够较快进行航标布设模拟;王祖良等从仿真的角度建立了一种类似于 Okumura-Hata 模型和 Longley-Rice 模型的预测模型,并对模型进行了验证^[10];吴青等研究了 AIS 基站的覆盖范围^[11],但研究仅停留在经验模型计算的层面,尚未考虑到山区航道 AIS 信号的实际衰减特性。

本文选择 Okumura-Hata 模型作为 AIS 信号传播预测模型,研究了 AIS 通信系统的场强分布特性,验证了经验模型在山区航道的适用性,并进行模型修正,得到了山区航道 AIS 场强分布的预测模型。

1 AIS 信号衰减原理与场强模型

1.1 信号衰减原理

AIS 的基本工作方式:装有 AIS 的船舶自动播报本船的信息给周围的船舶和基站,同时接收来自其他船舶和岸台的信息,使信息得以交换,避免船舶间碰撞。AIS 的核心思想是将船舶的 GPS 信息用 VHF 数字通信广播给周围的其他船舶,使船舶间能够共享信息,以实现船舶间的相互识别和监控。

AIS 信号是无线电波信号,其信号衰减遵循无线电信号特性。基站发送功率一定,在接收端接收信号时,由于信号衰减,需要进行调制和放大,接收的信号难免带有噪声,在调制和放大的过程中,信号波形会出现一定的失真和变形,当达到极限传播距离时,信号衰减到一定程度,即失真和变形达到一定程度,背景白噪声就会掩盖工作信号,使调制设备无法识别工作信号,AIS 船台无法显示 AIS 数据。AIS 信号具体衰减过程的波形见图 1。图 1 表示随着信纳比的下降,AIS 信号解调波形启动序列 0101010101 的实际情况。在信号场强分别为-70、-107、-110 dBm 时,信号逐渐失真,噪音含量逐渐提高,正确解调概率逐渐降低。由图 1(c)中虚线圆圈所标注的波形可以看出,由于噪音的混入,该地点的 01 信号处,出现了与基带 0 信号频率接近的 4.8 kHz 拐角,解调器会将此处信号识别为 000,导致误码,从而造成整条数据包失效。可见,由于山区遮挡,AIS 信号在传播过程中发生大量的反射与绕射,衰

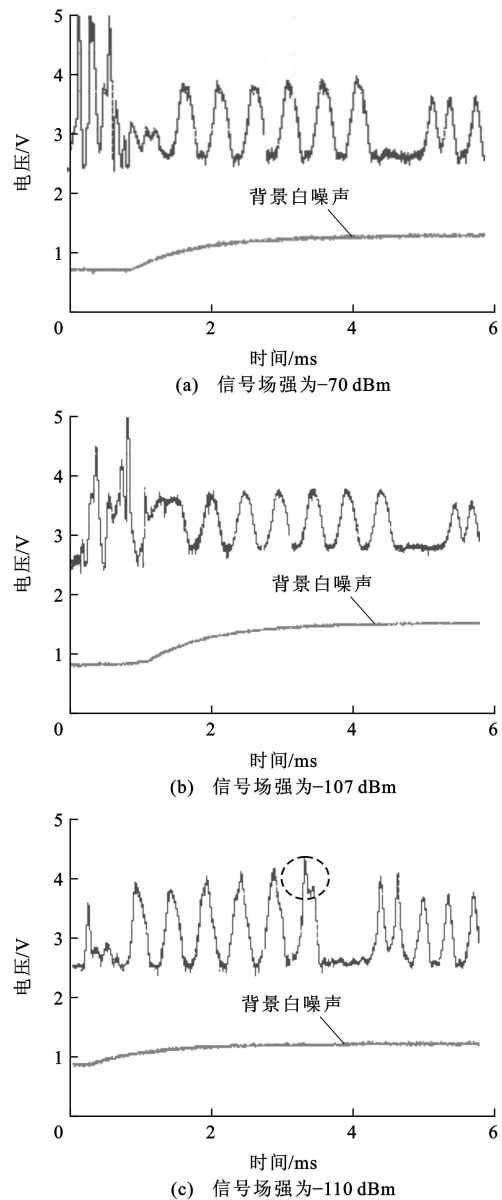


图 1 AIS 信号衰减波形

Fig. 1 Attenuation waveforms of AIS signals

减值大于空旷地区,场强计算需进行修正。

1.2 场强模型

在无线通信工程领域,为准确计算接收信号,必须首先进行大量场强测试,找出不同地形地物下的传播损耗(或接收信号场强)与距离、频率、天线高度的关系,给出传播特性的各种图表和计算公式,从而建立电波传播预测模型。目前,常用的无线电传播路径损耗预测模型有 Okumura-Hata 模型、国家标准场强预测模型、Durkin 模型、Walfisch-Bertoni 模型、Lee 模型、Egli 模型、Longley-Rice 模型、COST231-Hata 模型、Carey 模型等^[12]。

Okumura 模型,简称 OM 模型,是由 Okumura 等使用不同频率、不同天线高度、不同距离进行了一

系列的测试,最后绘成经验曲线而构成的模型。OM 模型将城市视为准平滑地形,先给出城市场强中值,对于其他不规则地形给出相应的修正因子。中国在移动通信工程设计中也建议采用 OM 模型进行场强预测。OM 模型的适用范围为:频率为 150~1 500 MHz,基站天线高度为 30~200 m,移动台天线高度为 1~10 m,测试距离为 1~20 km。AIS 信号频率为 162.025 MHz,基站天线高度为 30 m,移动台天线高度为 1 m,传播距离为 1~10 km,因此,OM 模型可用于 AIS 信号场强模型分析^[13]。OM 模型表示如下

$$P_R = P_T - L_{\text{tot}} \quad (1)$$

$$L_{\text{tot}} = L_z + A_m(f, d) - G(h_R) - G(h_T) \quad (2)$$

$$L_z = 32.45 + 20\lg(d) + 20\lg(f) \quad (3)$$

$$\begin{cases} G(h_T) = 20\lg\left(\frac{h_T}{200}\right) & 30 \text{ m} < h_T < 1\,000 \text{ m} \\ G(h_R) = 10\lg\left(\frac{h_R}{3}\right) & h_R < 3 \text{ m} \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_R 为接收功率; P_T 为发射功率; L_{tot} 为信号的总路径损耗; L_z 为自由空间的传播损耗; f 为发射信号频率; d 为传播距离; $A_m(f, d)$ 为基本损耗中值,可查表得到; $G(h_T)$ 为发送天线增益; $G(h_R)$ 为接收天线增益; h_T 为发送天线高度; h_R 为接收天线高度。

在 Okumura 等的研究成果之上,为使 OM 模型更加简便易用,Hata 等更进一步给出了一组数学公式用于描述 OM 模型的图标信息^[14],经拟合获得的传播损耗为

$$L = \begin{cases} 69.55 + 36.16\lg(f) - 13.82\lg(h_T) + B & \text{市区} \\ 64.15 + 26.16\lg(f) - 2[\lg(f/28)]^2 - 13.82\lg(h_T) + B & \text{开阔区} \\ 28.61 + 44.49\lg(f) - 4.87[\lg(f)]^2 - 13.82\lg(h_T) + B & \text{郊区} \end{cases} \quad (5)$$

$$B = [44.9 - 6.55\lg(h_T)][\lg(d)]^r - H(h_R)$$

式中: L 为信号场强; $H(h_R)$ 为接收天线高度修正函数; r 为损耗修正系数。

修正函数 $H(h_R)$ 的选择公式为

$$H(h_R) = \begin{cases} 8.29[\lg(1.54h_R)]^2 - 1.1 & f < 300 \text{ MHz 的大城市} \\ 3.2[\lg(11.75h_R)]^2 - 4.97 & f \geq 300 \text{ MHz 的大城市} \\ [1.1\lg(f) - 0.7]h_R - 1.56\lg(f) + 0.8 & \text{中小城市} \end{cases} \quad (6)$$

选择 L (开阔区)计算开阔地带模型和 L (郊区)

计算山区地带模型,选用大城市中 $f < 300 \text{ MHz}$ 的 $a(h_R)$ 函数进行修正。

2 AIS 场强分布试验

为了定量分析 AIS 信号在内河山区航道环境的衰减特性,选择典型的三峡坝区航段作为研究对象设计试验。

2.1 试验方法

由于难以获得三峡航道上各船舶使用的 AIS 船台发送功率,为确切进行 AIS 信号场强计算,在岸上固定使用 1 个功率已知的 SAAB R40 AIS 基站接收并转发三峡海事局和航道内船舶发送的 AIS 信号。具体试验步骤如下。

Step 1: 使用 2 个 SAAB R40 AIS 基站,其中 1 个置于岸上固定地点处作为信号发送基站,并确定基站周边无强电磁场干扰,记录发送天线高度与海拔、发射功率、GPS 经纬度坐标;另外 1 个置于三峡航道中移动的海事局船舶上,作为信号接收基站,记录接收天线高度与海拔、GPS 经纬度坐标。

Step 2: 设定 AIS 信号发送基站,接收并转发三峡海事局和航道内船舶发送的 AIS 信号报文,持续时间为 15~30 min。

Step 3: 统计 AIS 信号接收基站接收到的信号发送基站转发出的报文数量,计算 AIS 信号接收点的误包率。

现场场强测量方法较为复杂,由马枫等的研究可知 AIS 信号场强在一定范围内可以通过 AIS 信号误包率进行转换^[8],转换公式为

$$Y = \frac{a_1 L^2 + b_1 L + c}{a_2 L^2 + b_2 L + 1} \quad (7)$$

式中: Y 为误包率; a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c 均为常数,本文中分别为 -0.002 761 74、0.007 532 17、0.018 634 87、0.154 800 21、0.028 213 05。

式(7)计算得到的场强作为 AIS 信号接收点实际场强。用 GPS 定位 AIS 信号发送基站和接收基站地点,根据其经纬度信息计算出信号接收基站地点与信号发送基站地点之间的直线距离。由于试验地点位于山区,存在山体遮挡,绕射距离为

$$D = \sqrt{d_a^2 + (h_m - h_a)^2} + \sqrt{d_b^2 + (h_m - h_b)^2} \quad (8)$$

式中: D 为绕射距离; d_a 为信号发送基站 a 与山体的距离; d_b 为信号接收基站 b 与山体的距离; h_m 为山体海拔高度; h_a 为发送基站海拔高度; h_b 为接收基站海拔高度。

信号绕射原理见图 2, α 为绕射角, β 为发送点

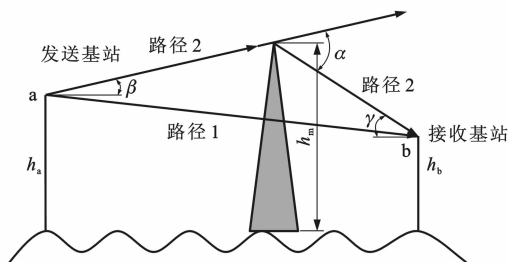


图 2 AIS 信号绕射原理

Fig. 2 Diffraction principle of AIS signal

仰角, γ 为接收点仰角。图 2 中阴影所示等腰三角形为发送基站和接收基站间海拔最高的山体, AIS 信号通过绕射路径 2 从发送基站 a 到达接收基站 b, 由于山体遮挡, 通过路径 1 的信号没有到达 b。

2.2 试验平台

试验平台中包含 SAAB R40 基站 2 个, 发送和接收天线各 1 根, GPS 定位板 1 块, 控制 PC 1 台。试验路线见图 3。

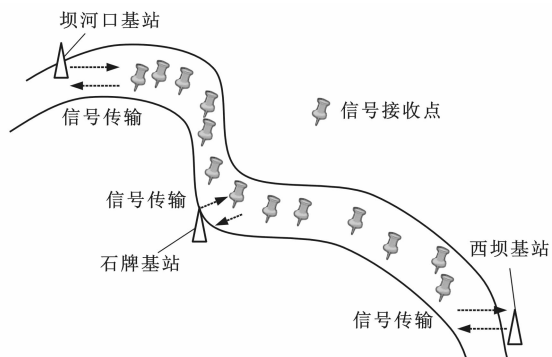


图 3 试验路线

Fig. 3 Experimental route

2.3 试验过程

(1) 2013 年 9 月 6 日 11:30~16:30, AIS 信号发送基站地点为坝河口基站, 位于长江三峡通航管理局办公大楼楼顶, 高程为 98 m, 距离长江垂直距离约为 200 m, 移动信号接收点为 6 个。试验轨迹见图 4, AIS 信号发送点和接收点连线上的三角形表示山体遮挡海拔最高的点, 下同。

(2) 2013 年 9 月 7 日 9:53~15:36, AIS 信号发送基站地点为石牌基站, 位于石牌弯道依山临河所建三层大楼顶部, 高程为 76 m, 大楼位于大山山脚。移动信号接收点为 15 个, 试验轨迹见图 5。

(3) 2013 年 9 月 9 日 9:52~12:14, AIS 信号发送基站地点为西坝基站, 位于长江三峡通航管理局信息中心大楼楼顶, 高程为 80 m, 位于三峡西坝中间位置。移动信号接收点为 8 个, 试验轨迹见图 6。

试验中 AIS 信号发送基站在每个测试点发送 AIS 数据 30 min, AIS 信号接收基站同步接收数据,

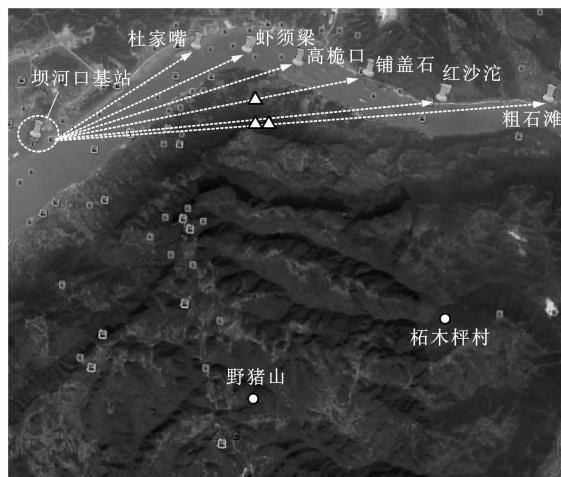


图 4 坝河口基站试验轨迹

Fig. 4 Experimental track of Bahekou base station

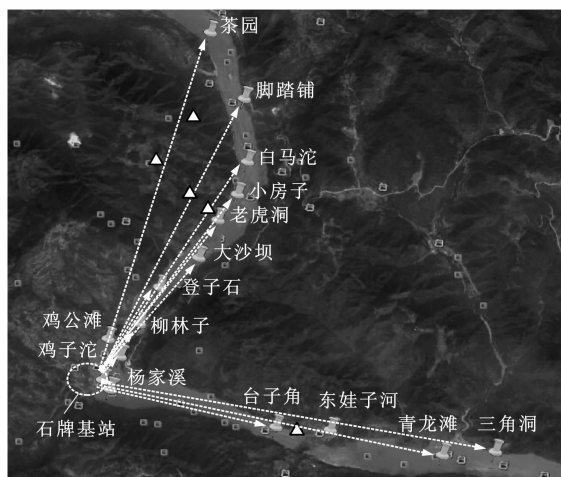


图 5 石牌基站试验轨迹

Fig. 5 Experimental track of Shipai base station

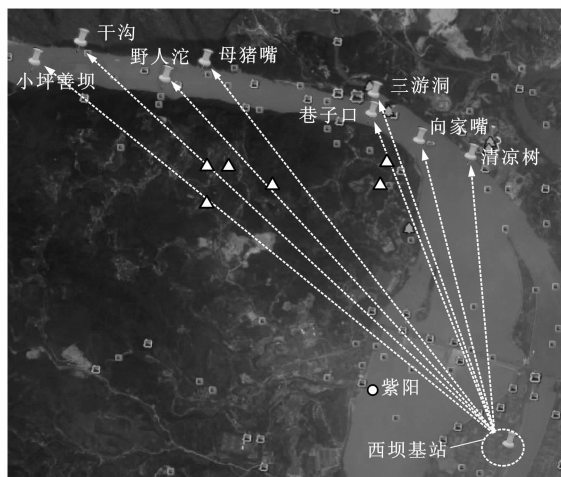


图 6 西坝基站试验轨迹

Fig. 6 Experimental track of Xiba base station

并在谷歌地图记录两点之间连线上海拔最高的山体高度。在接收工作完成后, 前往下一个测试点。

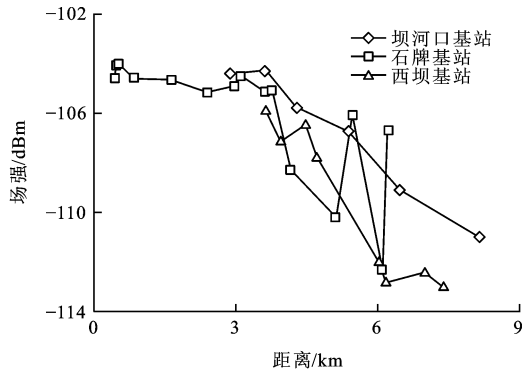


图 7 实际场强与距离关系

Fig. 7 Relationships between actual field intensities and distances

2.4 试验结果分析

根据图 4~6 中 AIS 信号发送点与接收点之间连线上是否有山体直接遮挡,判断该接收点是否处于遮挡区。应用 Okumura-Hata 模型分别计算 3 个基站的 AIS 场强预测分布。长江三峡库区航段 29 个测点的 AIS 信号理论场强与实际场强见表 1。根据表 1 中数据得到三峡库区航段 29 个测点的 AIS 信号实际场强与距离关系,见图 7,结果表明:在距离约为 3 km 时,AIS 信号场强出现骤然下降的趋势,而石碑基站中存在距离增大场强反而增加的 2 个测点,因为这 2 个测点前后处于山体遮挡地带,因而衰减更快。

由于开阔地带与山区地带的计算模型不同,将其分开讨论,试验结果见图 8。根据所确认的遮挡区,得到开阔地带的实际场强分布曲线和山区地带实际场强分布曲线,分别见图 8(a)、(c),可以看出其衰减规律明显不同。由图 8(d)可以看出,应用修正函数修正的 Okumura-Hata 模型中的山区地带模型计算得到的理论场强分布曲线与实际场强分布曲线形状较为吻合,存在 3~8 dBm 的误差。综合以上分析可知:AIS 信号传播中 3 km 为一个临界距离,AIS 信号传播距离小于 3 km 时,曲线较平缓,信号较好,而传播距离大于 3 km 后,信号质量急剧变差。图 8(b)中,对于 3 km 内的 AIS 信号场强分布,应用 Okumura-Hata 模型中的开阔地带模型计算的理论场强与实际场强误差较大,原因为理论模型中开阔地带的场强预测基于 AIS 信号在空气中的自然衰减,而在山区航道中,AIS 信号的衰减具有特殊性,另外所引用的误包率预测场强对于近距离的场强预测也有一定偏差,因此,认定山区航段中 Okumura-Hata 模型并不适用距离小于 3 km 的 AIS 场强计算,其数学模型需进一步寻找,但并不影响基站布设。

表 1 测点的理论场强与实际场强

Tab. 1 Theoretical and actual field intensities of test points

测点与相应 基站距离/km	理论场强/ dBm	实际场强/ dBm	信号发送 基站名称
2.890	-92.065	-104.388	坝河口
3.611	-95.966	-104.261	
4.291	-98.990	-105.735	
5.381	-102.953	-106.692	
6.469	-106.178	-109.071	
8.167	-110.260	-110.984	
0.405	-57.676	-104.563	石碑
0.462	-60.012	-104.015	
0.514	-61.826	-103.919	
0.834	-70.298	-104.548	
1.622	-81.957	-104.605	
2.390	-88.743	-105.120	
2.971	-92.553	-104.869	
3.083	-93.202	-104.441	
3.616	-95.994	-105.090	
3.766	-96.702	-105.069	
4.165	-98.466	-108.277	
5.112	-102.057	-110.177	
5.470	-103.239	-106.049	西坝
6.088	-105.115	-112.288	
6.222	-105.496	-106.670	
3.627	-96.047	-105.837	
3.945	-97.519	-107.078	
4.463	-99.676	-106.408	
4.705	-100.601	-107.712	
6.034	-104.959	-112.002	
6.178	-105.371	-112.783	
7.003	-107.653	-112.364	
7.398	-108.527	-112.978	

3 模型修正

由于对山区地带航道的衰减修正不够,Okumura-Hata 模型计算得到的理论场强分布范围较小。为进一步描述 AIS 信号的场强分布关系,采取数据拟合的方式对 AIS 信号在山区航道的连续场强变化进行修正^[15]。计算山区地带 13 个测点与开阔地带 16 个测点理论场强与实际场强的差值,场强误差曲线见图 9。由图 9 可以看出,距离与场强误差的关系遵循抛物线型分布。抛物线型分布常用的拟合模

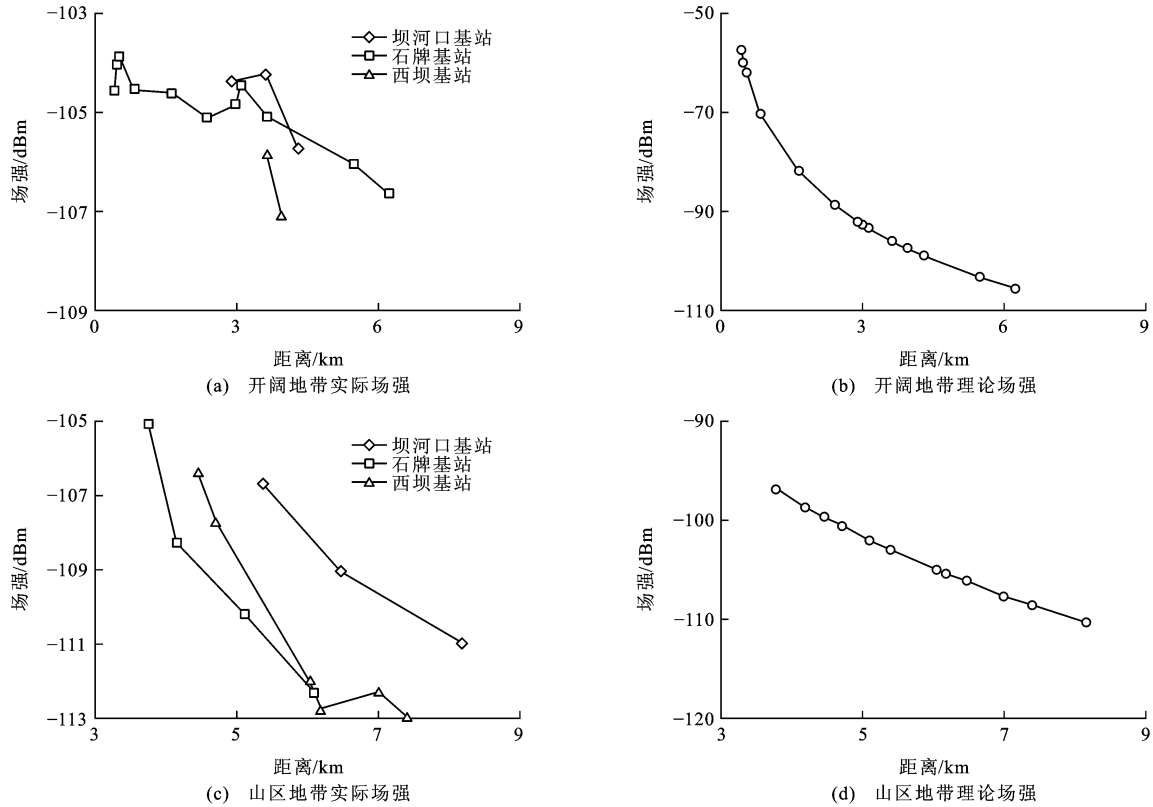


图 8 开阔地带和山区地带的实际场强与理论场强

Fig. 8 Actual and theoretical field intensities of open area and mountainous region

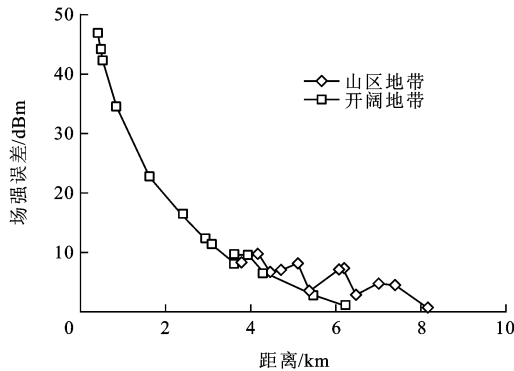


图 9 场强误差曲线

Fig. 9 Difference curves of field intensity

型有 Gompertz 模型、Logistic 模型、Richards 模型、二次有理分式拟合模型等^[16-17],其中二次有理分式拟合模型具有更好的普遍适用性,选定其进行拟合计算。为提高精确度,将幂数取为 3 次。函数的一般形式为

$$F = gx^3 + jx^2 + kx + e \quad (10)$$

式中: F 为修正误差; x 为距离; g 、 j 、 k 、 e 均为待定系数。

分别对山区地带 13 个测点与开阔地带 16 个测点中距离大于 2.9 km 的 9 个测点的场强误差进行二次有理分式拟合,拟合曲线分别见图 10、11,图 10

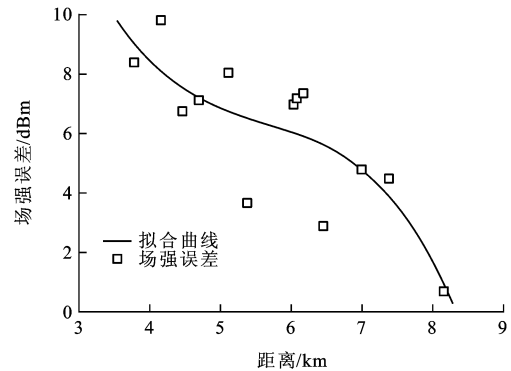


图 10 山区地带拟合曲线

Fig. 10 Fitting curve of mountainous region

中 g 、 j 、 k 、 e 分别为 -0.166 、 2.848 、 -17.240 、 42.330 ,图 11 中 g 、 j 、 k 、 e 分别为 0.018 、 -0.051 、 -3.920 、 23.130 。将修正函数代入 Okumura-Hata 模型进行验算,山区地带 13 个测点和开阔地带 9 个测点的修正场强分别见表 2、3,可以看出,修正后山区地带测点场强的平均误差由 6.015 dBm 减小为 0.387 dBm,开阔地带测点场强的平均误差由 7.895 dBm 减小为 0.235 dBm。

修正后山区地带和开阔地带测点的 AIS 场强分布比较分别见图 12、13。图 12 中山区地带测点的理论场强呈指数衰减分布,实际场强呈齿状衰减

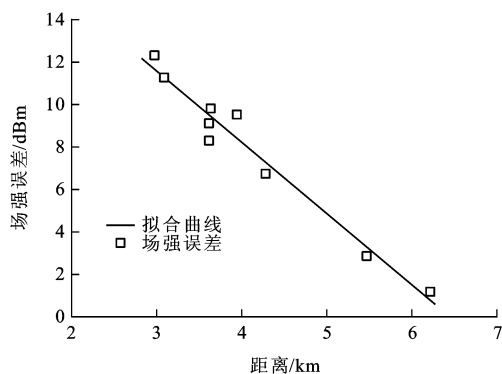


图 11 开阔地带拟合曲线

Fig. 11 Fitting curve of open area

表 2 山区地带修正误差

Tab. 2 Correcting errors of mountainous region

测点与相应基站 距离/km	修正场强/ dBm	原误差/ dBm	修正误差/ dBm
3.766	-105.615	8.369	-0.546
4.165	-106.386	9.807	1.891
4.463	-107.013	6.728	-0.605
4.705	-107.542	7.112	0.170
5.112	-108.508	8.077	1.669
5.381	-109.115	3.692	-2.423
6.034	-110.462	7.002	1.540
6.088	-110.506	7.188	1.782
6.178	-110.780	7.383	2.073
6.469	-111.168	2.871	-2.097
7.003	-111.723	4.798	0.641
7.398	-111.828	4.478	1.150
8.167	-111.202	0.684	-0.218

表 3 开阔地带修正误差

Tab. 3 Correcting errors of open area

测点与相应基站 距离/km	修正场强/ dBm	原误差/ dBm	修正误差/ dBm
2.971	-104.054	12.319	0.815
3.083	-104.286	11.241	0.155
3.611	-105.128	8.291	-0.867
3.616	-105.127	9.096	-0.037
3.627	-105.148	9.787	0.689
3.945	-105.494	9.558	1.584
4.291	-105.780	6.745	-0.045
5.470	-106.302	2.849	-0.253
6.222	-106.591	1.170	0.078

分布,修正场强介于两者之间,其分布贴合与实际场强分布,分布趋势与理论场强分布趋势更为类似。

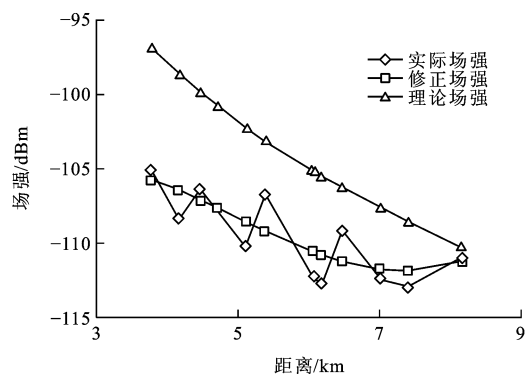


图 12 山区地带场强比较

Fig. 12 Comparison of field intensities of mountainous region

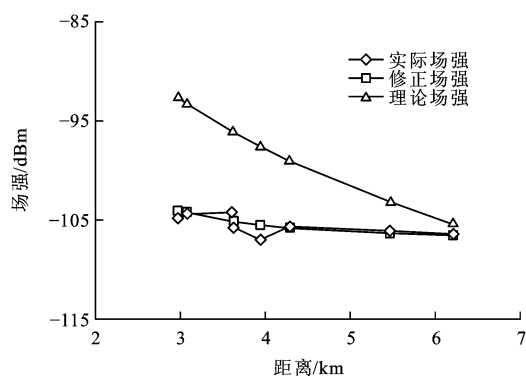


图 13 开阔地带场强比较

Fig. 13 Comparison of field intensities of open area

图 13 中开阔地带测点的理论场强呈指数衰减分布,实际场强呈类线性分布,经过修正的 AIS 场强分布曲线介于两者之间。由于山区航道环境复杂,其场强衰减形式多样,但是总体上比之前经验模型的衰减预估程度更为剧烈,经过修正的模型大体上弥补了这一落差。

为验证修正模型的正确性,2014 年 7 月 17 日 14:00 在重庆永川航段,取距离分别为 3.083、3.406、4.099、5.510、6.259、8.323 km 的 6 个测点,仿照三峡航段坝河口基站的测试距离和遮挡情况进行验证试验,具体试验轨迹见图 14。试验中前 2 个测点为无遮挡开阔地带,后 4 个测点为山区遮挡地带。验证试验的 AIS 场强分布见表 4,表中距基站距离为 3.083 km 处测点的实际场强为 -102.388 dBm,修正场强为 -104.576 dBm,准确率为 97.863%,使用 Okumura-Hata 模型计算的理论场强为 -93.200 dBm,准确率为 91.026%。6 个测点的平均理论场强为 -100.982 dBm,平均实际场强为 -106.636 dBm,修正模型平均场强为 -107.71 dBm,平均误差由 5.654 dBm 减小为 1.071 dBm,预测准确率由 94.615% 提高为 98.329%。由验证试验场强分布

表 4 验证结果
Tab. 4 Verified result

测点与相应 基站距离/km	路径是否 遮挡	理论场强/ dBm	修正模型预测 场强/dBm	实际场强/ dBm	理论场强 误差/dBm	修订模型场强 误差/dBm	理论模型 准确率/%	修正模型 准确率/%
3.083	否	-93.200	-104.576	-102.388	9.188	2.188	91.026	97.863
3.406	否	-94.945	-105.024	-103.261	8.316	1.763	91.947	98.293
4.099	是	-98.188	-105.631	-104.453	6.265	1.178	94.000	98.872
5.510	是	-103.368	-109.352	-107.713	4.345	1.639	95.966	98.478
6.259	是	-105.600	-110.828	-109.027	3.427	1.793	96.857	98.348
8.323	是	-110.591	-110.847	-112.973	2.382	-2.133	97.892	98.118

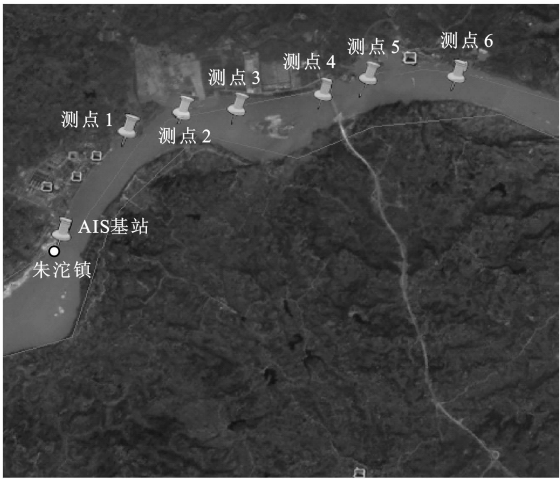


图 14 永川基站试验轨迹

Fig. 14 Experimental truck of Yongchuan base station

可以看出,修正模型场强预测的准确率明显提高,对于山区航道 AIS 场强的衰减修正预期也比理论模型更准确。

4 结 语

(1)Okumura-Hata 模型^[18-19]中的无线电信号在自由空间的路径损耗是一个通用的计算公式,而山区航段的开阔地带场强分布基本遵循自由空间的路径损耗,故其分布曲线在理论上应与 Okumura-Hata 模型吻合。经过计算,距离小于 3 km 的 AIS 场强计算结果出现较大误差,并不适用 Okumura-Hata 模型,需进一步寻找适用的数学模型,但是并不影响基站布设。对于山区遮挡部位,虽然 AIS 理论场强与实际场强的分布趋势吻合,但由于 Okumura-Hata 模型对 AIS 信号在山区的衰减估计不足,在具体测量数值上仍存在差距,以之作为参考而布设的基站覆盖范围不足,存在大量信号盲区。

(2)通过线性回归法对 Okumura-Hata 模型进行数据修正,改进各具体参数后,预测结果准确率可达 98%,经过验证证明修正模型对于山区航道 AIS

基站布设有指导意义。

(3)本文修正模型仍只能适用于山区航道,参数修正缺乏严谨的数学推导。下一步的研究中可引入射线追踪的方法,更加合理地探讨山区等复杂地形的 AIS 信号衰减^[20]。

参 考 文 献 :

References :

[1] 严忠贞,严新平,马 枫,等.绿色长江航运智能化信息服务系统及其关键技术研究[J].交通信息与安全,2010,28(6):76-81.
YAN Zhong-zhen, YAN Xin-ping, MA Feng, et al. Green Yangtze River intelligent shipping information system and its key technologies[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(6): 76-81. (in Chinese)

[2] 马 枫,严新平,初秀民.船舶自动识别系统性能半实物仿真方法研究[J].系统仿真学报,2013,25(6):1315-1320.
MA Feng, YAN Xin-ping, CHU Xiu-min. Research on automatic identify system performance with hardware-in-the-loop simulation[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(6): 1315-1320. (in Chinese)

[3] 陶立敏,许昌如.自动识别系统(AIS)基站的组网研究[J].航海技术,2004(4):31-33.
TAO Li-min, XU Chang-ru. Study of the AIS netting[J]. Marine Technology, 2004(4): 31-33. (in Chinese)

[4] VESECKY J F, LAWS K E, PADUAN J D. Using HF surface wave radar and the ship automatic identification system (AIS) to monitor coastal vessels[C]//IEEE. 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town: IEEE, 2009: 761-764.

[5] LARSEN J A, MORTENSEN H P, NIELSEN J D. An SDR based AIS receiver for satellites [C] // IEEE. 2011 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST). Istanbul: IEEE, 2011: 526-531.

[6] 马 枫,初秀民,严新平. AIS 基站短消息特性[J]. 交通运输工程学报,2012,12(6):111-118.
MA Feng, CHU Xiu-min, YAN Xin-ping. Short message characteristics of AIS base stations[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12(6): 111-118. (in Chinese)

[7] 马 枫,初秀民,严新平.内河 AIS 船台自适应发射功率调节

- 技术[J]. 中国航海, 2013, 36(1): 28-34.
- MA Feng, CHU Xiu-min, YAN Xin-ping. Self-adaptive transmission power adjustment technology for inland river AIS terminals[J]. Navigation of China, 2013, 36(1): 28-34. (in Chinese)
- [8] 马 枫, 严新平, 初秀民, 等. 船舶自动识别系统信号失效与场强的相关性[J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(3): 111-114.
- MA Feng, YAN Xin-ping, CHU Xiu-min, et al. Correlation between signal failure and field strength in automatic identify system[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2011, 37(3): 111-114. (in Chinese)
- [9] 宋成果. 基于虚拟现实的内河航道航标布设的仿真研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- SONG Cheng-guo. Research of the inland waterway aids to navigation layout simulation based on virtual reality[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012. (in Chinese)
- [10] 王祖良, 樊文生, 郑林华. 海面电波传播损耗模型研究与仿真[J]. 电波科学学报, 2008, 23(6): 1095-1099.
- WANG Zu-liang, FAN Wen-sheng, ZHENG Lin-hua. Study and simulation on sea-surface propagation prediction model[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(6): 1095-1099. (in Chinese)
- [11] 吴 青, 崔建平, 马 枫, 等. 基于奥村模型的内河 AIS 基站监测范围研究[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2011, 33(1): 36-39.
- WU Qing, CUI Jian-ping, MA Feng, et al. Research of monitoring scope of inland AIS base station based on Okumura-Hata model[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information and Management Engineering, 2011, 33(1): 36-39. (in Chinese)
- [12] 胡绘斌. 预测复杂环境下电波传播特性的算法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- HU Hui-bin. Prediction study on the algorithm of radio waves propagation characteristics under complicated environment[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2006. (in Chinese)
- [13] HASEGAWA K, NIWA K, MORI S, et al. Simulation-based master plan design and its safety assessment for congested waterways managements[C]//Shanghai Jiaotong University. 2nd International Maritime Conference on Design for Safety. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2004: 265-269.
- [14] HATA K, HASEGAWA K, NIWA K, et al. AIS simulator and ITS applications[C]//IEEE. 48th International Symposium ELMAR-2006. Zadar: IEEE, 2006: 223-226.
- [15] 闫 岩, 王 嵩, 杜正伟. 超宽带信号室内场强分布[J]. 电子技术应用, 2005, 31(9): 54-57.
- YAN Yan, WANG Qiang, DU Zheng-wei. UMB signal indoor electric field distribution[J]. Application of Electronic Technique, 2005, 31(9): 54-57. (in Chinese)
- [16] 毋河海. S 形分布的数据拟合数学模型研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(4): 474-478.
- WU He-hai. Study of mathematic model for fitting S shape distributed data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(4): 474-478. (in Chinese)
- [17] 毋河海. 数字曲线拐点的自动确定[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(3): 330-335.
- WU He-hai. Automatic determination of inflection point and its applications[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(3): 330-335. (in Chinese)
- [18] 孙 星, 吴 勇, 初秀民. 船-标-岸协同下智能长江航运及其发展展望[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(6): 48-52, 56.
- SUN Xing, WU Yong, CHU Xiu-min. Intelligent Yangtze River shipping and ITS prospects based on coordination of ship-mark-bank[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(6): 48-52, 56. (in Chinese)
- [19] 徐建闽, 林 思, 焦光庭, 等. 大交通模式下的 ITS 体系框架研究[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(2): 1-4, 50.
- XU Jian-min, LIN Si, JIAO Guang-ting, et al. ITS architecture of general communications[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2009, 27(2): 1-4, 50. (in Chinese)
- [20] 季 忠, 黎滨洪, 王豪行, 等. 一种高效的室内射线跟踪传播预测模型[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(2): 276-280.
- JI Zhong, LI Bin-hong, WANG Hao-xing, et al. An effective propagation estimation model for indoor radio communications using ray tracing technique[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2000, 34(2): 276-280. (in Chinese)