通信基站对射电望远镜电磁干扰的预测方法

许清琳^{1*}, 邱扬¹, 田锦¹, 刘奇²

1. 西安电子科技大学机电工程学院, 西安 710071;

2. 中国科学院新疆天文台, 乌鲁木齐 830011

*联系人, E-mail: xqinglin@126.com

收稿日期: 2019-01-22; 接受日期: 2019-02-25; 网络出版日期: 2019-05-29

国家重点基础研究发展计划(编号: 2015CB857100)和国家自然科学基金(编号: 11473061, 11103056)资助项目

摘要 射电望远镜具有极高的灵敏度和很宽的工作频率范围, 在执行观测任务时, 不仅会接收到观测目标产生的信号, 还会接收到台址内外各类电磁干扰信号, 从而影响观测的准确性, 其中以通信基站的干扰最为突出. 为了预测通信基站对射电望远镜的电磁干扰, 本文提出了一种基于相对地形的电磁干扰预测方法. 该方法将地形高程数据转换成相对地形数据, 以相对地形的波动高度作为判据, 采用Deygout模型计算了通信基站到射电望远镜的路径损耗. 再结合通信基站的参数, 最终得到了通信基站对射电望远镜的干扰功率. 文中着重分析了该方法的实现过程, 为下一步自主研发射电望远镜电磁干扰预测软件提供了基础.

关键词 射电望远镜, 通信基站, 相对地形, 电磁干扰预测

PACS: 95.55.Jz, 84.40.Ua, 41.20.Jb

1 引言

射电望远镜在执行观测任务时所接收的是来自宇宙的无线电波, 这些无线电波的信号强度极其微弱, 即使是天体中最强的射电源, 其在地球表面所能得到的谱流量密度也仅仅是在 $10^{-20} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Hz})$ 以下, 这要求射电望远镜必须有足够高的灵敏度和分辨率. 由于射电望远镜在所有波段上均配备有高灵敏度的接收机, 且具有很宽的工作频率范围, 因此观测时极易受到台址内外各类电磁信号的干扰, 从而影响射电观测的质量.

为了解决这一问题, 国内外对射电望远镜受到的

电磁干扰开展了深入研究. Waterman^[1]讨论了影响射电望远镜工作的各种电磁干扰源, 其中包括移动通信基站在内的无线电通信系统是影响射电观测最主要的射频干扰源^[2]. 大多数情况下, 这些无线电设备的带外和杂散辐射超标是引起干扰的主要原因^[3]. 为了对通信基站产生的干扰进行定量分析, Ambrosini等人^[4,5]分别采用了固定和移动监测手段, 对撒丁岛射电望远镜台址附近的电磁干扰进行了监测. 李建斌等人^[6]对新疆110 m射电望远镜候选台址进行了电磁环境测试, 为科学选址、保护射电天文业务提供了科学依据. 但射电望远镜这类大型系统所处的电磁环境十分复杂, 对其进行系统的电磁环境测试, 不仅需要大量的时间,

引用格式: 许清琳, 邱扬, 田锦, 等. 通信基站对射电望远镜电磁干扰的预测方法. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 099513

Xu Q L, Qiu Y, Tian J, et al. Prediction method for electromagnetic interference of communication base station to radio telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 099513, doi: 10.1360/SSPMA-2019-0023

有些测试还很难实施. 如果能够对射电望远镜受到的电磁干扰进行预测, 将有助于识别已经出现的和潜在的干扰, 进而采取措施避免和消除这些干扰.

由于通信基站到射电望远镜的耦合路径体现为单向耦合^[7], 因此可以用路径损耗来描述基站天线到射电望远镜馈源口面的传递函数^[8], 再结合基站天线的电磁辐射特性, 即可对射电望远镜的受干扰程度进行评估. 为了预测通信基站的电磁辐射环境, 温锐彪^[9]分析发现GSM移动通信基站周围的电磁辐射水平与天线的发射功率、公众活动区域与天线的高度差以及天线的主瓣方向有关. Liu等人^[10]采用全波电磁场求解器, 建立了基站天线的通用模型. 刘奇等人^[11]考虑了天线旁瓣增益和电波传播路径衰减的影响, 计算了射电望远镜馈源口面的干扰电平限值, 用于评估电子设备电磁辐射对射电望远镜的影响, 但并未考虑干扰在传播过程中受地形的影响. Chio等人^[12]采用高阶矩量法对GSM移动通信基站的电磁环境进行了仿真, 但由于数值方法采用网格划分, 在处理电大尺寸模型时, 需要较大的计算内存和较长的计算时间.

本文针对通信基站对射电望远镜的电磁干扰, 提出了基于相对地形的电磁干扰预测方法, 首先采用地理信息系统提取了台址附近高精度的地形数据, 并将其转换成相对地形数据; 然后结合通信基站的参数, 采用传输损耗模型, 计算了相对地形的路径损耗, 从而对射电望远镜受通信基站的电磁干扰进行预测.

2 通信基站的电磁辐射特性

随着移动通信用户的迅速增加, 运营商对通信基站和频谱的需求也越来越大. 表1为移动通信频段分配表, 可以看出, 目前国内的移动通信工作频段在800–2700 MHz范围内, 多种制式并存. 该频段也覆盖了用于中性氢谱线及其多普勒频移、连续谱观测, 以及宇宙天体物理参数探测等多种射电天文业务的重要频段, 而且移动通信基站的发射功率大、发射时间长, 如果落在射电天文业务频段内, 若隔离距离不足, 就会对射电望远镜造成邻道、谐波和杂散等干扰.

通信基站的电磁干扰主要来源于基站天线的辐射发射^[13]. 预测计算通信基站所产生的电磁干扰, 需要获得基站天线的发射功率、增益、辐射方向图、水平波瓣宽度、垂直波瓣宽度、下倾角等技术参数. 根据《辐射环境保护管理导则电磁辐射监测仪器和方法》(HJ/T 10.2-1996)给出的微波远场轴向功率密度计算公式, 可以推导出基站天线的辐射场强为

$$E = \frac{173\sqrt{P_T G_T}}{r} F(\theta, \varphi), \quad (1)$$

式中, P_T 为基站天线的发射功率(kW), G_T 为天线的增益, r 为发射源点与接收场点之间的距离(km), $F(\theta, \varphi)$ 为天线的方向图函数.

以现代移动通信中广泛采用的一种板状振子型基站天线为例, 其等效模型为四个半波振子组成的天线

表 1 移动通信频段分配表

Table 1 Spectrum allocation for mobile communication

运营商	制式	上行Rx (MHz)	下行Tx (MHz)
中国移动	GSM900	890–909	935–954
	2G EGSM900	885–890	930–935
	GSM1800(DCS1800)	1710–1730	1805–1825
	3G TD-SCDMA	1880–1920	2010–2025
	4G TDD-LTE/FDD-LTE	2320–2370	2575–2635
中国联通	GSM900	909–915	954–960
	GSM1800(DCS1800)	1745–1755	1840–1850
	3G WCDMA	1940–1955	2130–2145
	4G TDD-LTE/FDD-LTE	2300–2320	2555–2575
中国电信	2G CDMA(800)	825–835	870–880
	3G CDMA2000	1920–1935	2110–2125
	4G TDD-LTE/FDD-LTE	2370–2390	2635–2655

阵列, 并在阵列的一侧加上反射板($L = 3.75\lambda$, $W = 0.8\lambda$, $H = 0.25\lambda$, $d = 0.75\lambda$, $h = 0.05\lambda$), 如图1所示.

仿真得到通信基站天线E面和H面的辐射方向图如图2所示.

从仿真结果可以看出该天线的最大增益为13.3 dBi, E面的3 dB波瓣宽度为16.7°, H面3 dB波瓣宽度为98.1°. 将上述参数代入式(1)即可获得基站天线的辐射场强.

3 基于相对地形的电磁干扰预测计算

从通信基站到射电望远镜通常跨越各种不同的地形地貌, 因此射电望远镜受到的电磁干扰不仅与通信基站的参数有关, 还与两者的相对位置, 以及传播路径上的地形特征有关. 这就需要对通信基站进行定位, 并提取各基站到射电望远镜的地形数据. 由于基站天线辐射的电磁波会受到地形的阻挡而产生反射、绕射等现象, 导致不同传播路径的损耗差别较大, 因此, 将地形高程数据转换成相对地形数据, 以相对地

图1 (网络版彩图)基站天线模型
Figure 1 (Color online) Model of base station antenna.

图2 (网络版彩图)基站天线的辐射方向图. (a) E面; (b) H面
Figure 2 (Color online) Radiation pattern of base station antenna. (a) E-plane; (b) H-plane.

形的波动高度作为判据, 针对不同的地形使用相应的传输损耗模型, 有助于提高干扰预测计算的准确性.

3.1 通信基站定位

为了获取干扰传播路径上的地形特征, 首先需要对台址周围的通信基站进行定位. 根据射电望远镜台址的经纬度坐标和全国三大运营商(中国移动、中国联通、中国电信)的基站数据库可以确定台址周围的基站分布. 以新疆南山25 m射电望远镜为例, 其经纬度坐标为: O_LNG:87.17813, O_LAT:43.47158, 可以计算其3 km范围内的经纬度为: O_LNG:87.14105–87.21520, O_LAT:43.44459–43.49858, 则根据2016年3月更新的全国基站数据库可以确定新疆南山25 m射电望远镜台址周围3 km范围内240°–300°方向的基站分布, 如图3所示, 其中1号和2号基站为中国联通公司基站, 3号–5号基站为中国移动公司基站.

3.2 地形数据提取

在确定了台址周围的基站分布后, 就可以采用地理信息系统, 提取各基站到射电望远镜的地形数据. 本文采用Global Mapper, 加载数字地图SRTM3, 提取了传播路径剖面的高程数据.

其具体过程为: 首先根据经纬度坐标, 确定射电望远镜和通信基站的位置, 并在数字地图上标出; 然后建

图3 (网络版彩图)25 m射电望远镜3 km范围内240°–300°方向基站分布图

Figure 3 (Color online) Distribution of base stations in the direction of 240°–300° within 3 km of the 25 m radio telescope.

立各基站到射电望远镜的直线路径, 并提取路径剖面, 如图4(a)–(e)所示; 最后根据预测精度要求设置采样间隔, 提取该路径上各采样点对应的高程数据, 其数据格式如图5所示, 包括经纬度、高程、距离、坡度、坡向等. 所提取到的地形数据, 采用的是地理坐标系, 其横轴表示水平距离, 纵轴表示高程, 反映了该路径上实际的地形特征.

3.3 相对地形坐标转换

由于采用地理信息系统提取的地形数据是通过经

纬度和高程描述的实际地形数据, 而通信基站对射电望远镜的电磁干扰, 其传播特性主要取决于两者的相对位置. 因此, 本文提出了相对地形的概念, 即以通信基站和射电望远镜天线的连线为基准, 地表与该连线所包围的地形. 然后基于相对地形来计算传播路径的损耗. 为了获取相对地形的参数, 需要建立相对地形坐标系, 将通信基站到射电望远镜的实际地形数据转换成相对地形数据.

以A点为坐标原点, AB的连线为横轴, 过A点的AB垂线为纵轴, 建立相对地形坐标系, 如图6所示,

图 4 (网络版彩图)基站到射电望远镜路径剖面. (a) 1号基站; (b) 2号基站; (c) 3号基站; (d) 4号基站; (e) 5号基站

Figure 4 (Color online) Profile of path from each base station to the radio telescope. (a) Base station 1; (b) base station 2; (c) base station 3; (d) base station 4; (e) base station 5.

ID	X	Y	Elevation	Distance (segment)	Distance (total)	Slope (degrees)	Slope (percent)	Segment index
1	87.16853	43.47475	2088.043	0	0	—	—	1
2	87.1685394	43.4747469	2087.761	0.833	0.833	18.7	33.90%	1
3	87.1685488	43.4747438	2087.477	0.833	1.666	18.8	34.00%	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...

图 5 地形数据格式

Figure 5 Format of terrain data.

图 6 (网络版彩图)地形坐标转换

Figure 6 (Color online) Conversion of terrain coordinate.

$O(x, y)$ 为地理坐标系, $O'(x', y')$ 为相对地形坐标系, h_1 为基站天线的高度, h_2 为射电望远镜馈源口面的高度.

坐标系的转换关系为

$$\begin{cases} x = x'', \\ y = y'' + h_1, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x'' = x' \cos \theta - y' \sin \theta, \\ y'' = x' \sin \theta + y' \cos \theta, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta + (y - h_1) \sin \theta, \\ y' = -x \sin \theta + (y - h_1) \cos \theta. \end{cases} \quad (4)$$

当基站天线的 y 坐标小于射电望远镜天线的 y 坐标

时, 角度 θ 为正, 反之角度 θ 为负. 取 1 号-5 号基站天线的平均高度约为 20 m, 25 m 射电望远镜指向 270° 方向, 俯仰角为 5° , 此时射电望远镜馈源口面的高度约为 16 m, 将 1 号-5 号基站到射电望远镜的地形高程数据转换成相对地形数据, 如图 7(a)-(e) 所示.

3.4 电磁干扰预测计算

由传输链路公式可知, 通信基站对射电望远镜的干扰功率为

$$P_r = P_t + G_t(\theta, \varphi) + G_r(\theta, \varphi) + L_p, \quad (5)$$

式中, P_t 为通信基站的天线发射功率, $G_t(\theta, \varphi)$ 为基站天线的增益, $G_r(\theta, \varphi)$ 为射电望远镜天线的增益, L_p 为路径损耗.

实际的射电望远镜台址周围存在多个通信基站, 此时, 射电望远镜天线接收到的功率为各基站干扰功率的叠加

$$P_R = \sum_{i=1}^n P_{ri}, \quad (6)$$

式中, P_{ri} 为射电望远镜天线接收到的第 i 个基站的干扰功率, n 为产生干扰的基站个数.

对地面移动通信所采用的频段而言, 其主要的传播方式为视距传播, 在视距波传播中, 接收点场强是

图 7 (网络版彩图)基站到射电望远镜相对地形. (a) 1 号基站; (b) 2 号基站; (c) 3 号基站; (d) 4 号基站; (e) 5 号基站

Figure 7 (Color online) Relative terrain between each base station and the radio telescope. (a) Base station 1; (b) base station 2; (c) base station 3; (d) base station 4; (e) base station 5.

直射波和反射波的叠加. 此外, 射电望远镜多建在山区, 地形起伏较大, 当遇到地形变化, 就会产生绕射引起附加损耗, 因此总的路径损耗为

$$L_p = L_{bf} + L_d + L_g, \quad (7)$$

式中, L_{bf} 为自由空间传输损耗, L_g 为地面反射损耗, L_d 为绕射损耗.

对于视距传播, 地面反射点切线与投射波之间的夹角很小, 此时, 水平极化波和垂直极化波反射系数的模值均近似为1, 相位近似为 180° . 当满足雷利准则, 地面反射损耗可表示为

$$L_g \approx 2 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{r\lambda} \right) \right|, \quad (8)$$

式中, h_1 和 h_2 分别为基站天线和射电望远镜馈源口面的高度, r 为通信基站到射电望远镜的距离.

当第一菲涅耳区被地形遮挡, 则采用Deygout模型先分别计算出各单峰的绕射损耗, 再求和得到总的绕射损耗

$$L_d = \sum_{i=1}^n L_{di} = L_{d1} + L_{d2} + \cdots + L_{dn}, \quad (9)$$

$$L_{di} = J(v) + T(m, n), \quad (10)$$

$v > -0.78$ 时

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left[\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right], \quad (11)$$

$$v = h \sqrt{\frac{2d_1 + d_2}{\lambda d_1 d_2}}, \quad (12)$$

式中, L_{di} 为 M_i 峰的绕射损耗, $J(v)$ 为等效刃形峰的绕射损耗, $T(m, n)$ 为由障碍物的曲率造成的附加衰减, v 为几何尺度因子, h 为绕射高度, d_1 为基站天线到 M_i 峰顶部的距离, d_2 为射电望远镜馈源口面到 M_i 峰顶部的距离(km). 至此, 采用上述公式就可以计算出相对地形的路径损耗. 再将路径损耗和天线增益代入式(5)即可获得通信基站对射电望远镜的干扰功率.

射电望远镜天线的增益采用ITU-R SA.509建议书给出的针对 $D/\lambda \geq 100$ (D 为天线直径, λ 为工作波长)的大口径抛物面天线的辐射方向图模型. 由于射电望远镜具有很强的方向性, 通信基站对射电望远镜的干扰可以认为是通过天线旁瓣进入的, 且实际的通信基站由多个天线和发射机组成, 即存在来自多个干扰源的

集总干扰, 因此使用干扰来源为多个时的天线旁瓣增益

$$G_r(\varphi) = \begin{cases} 29 - 25 \log(\varphi), & 1 \leq \varphi \leq 48, \\ -13, & 48 \leq \varphi \leq 80, \\ -8, & 80 \leq \varphi \leq 120, \\ -13, & 120 \leq \varphi \leq 180, \end{cases} \quad (13)$$

式中, φ 为通信基站偏离射电望远镜主波束轴的角度.

4 模型验证

为了验证预测方法的有效性, 对南山25 m射电望远镜台址L和S波段的电磁环境进行了测试^[14], 测试系统安装在25 m射电望远镜二次平台, 该位置接近射电望远镜馈源口面, 且距离地面较高, 受地面杂散干扰影响较小. 测试频段为950–2650 MHz, 该频段测试天线3 dB波束宽度约为 60° , 确定 45° 为一个测试方向, 8个测试方向覆盖 360° , 其中 0° 为正北方向. 选用R&S FSW13高性能信号分析仪, 设置中频滤波器带宽为30 kHz, 视频滤波器带宽为300 kHz, 分辨率带宽内积分时间为20 ms.

测试结果表明, 25 m射电望远镜受到移动通信业务的干扰主要来自台址 240° – 300° 方向. 中国联通公司3G基站下行频段为2140–2145 MHz, 在 240° – 300° 方向的干扰功率为 -77 dBm左右, 其相应的谱流量密度约为 -128.66 dB(W/(m² Hz)), 中国移动公司3G基站下行频段为2020–2025 MHz, 在 240° – 300° 方向的干扰功率为 -86 dBm左右, 其相应的谱流量密度约为 -138.16 dB(W/(m² Hz)).

采用本文方法计算各基站到射电望远镜的路径损耗, 如表2所示.

已知通信基站单个扇区的发射功率为5–6 W, 最大增益为13 dBi. 由于5个基站均在测试天线的3 dB波束宽度内, 可近似认为测试天线在 240° – 300° 方向的增益为其最大增益, 即5 dBi, 可计算出测试天线在 240° – 300° 方向接收到的谱流量密度, 如表3所示.

将实测损耗与计算损耗进行比较, 可以看出, 两者相差在10 dB以内, 因此本文方法可以近似满足台址3 km范围内的路径损耗预测. 分析路径特点可知, 通信基站到射电望远镜之间多为粗糙的起伏地形, 且有大片树林, 因此预测损耗小于实测损耗.

通信基站对25 m射电望远镜的干扰, 实质上是对其6 cm接收机的干扰, 对于脉冲星搜寻观测, 选择的积分时间为10 s, 脉冲星观测终端带宽为64 MHz. 当射电望远镜指向270°方向时, 5个基站的干扰信号均通过天线旁瓣进入. 根据射电望远镜天线的旁瓣增益函数, 设25 m射电望远镜天线的增益为其旁瓣最大增益, 即29 dBi, 就可以计算出25 m射电望远镜在240°–300°方向接收到的谱流量密度, 如表4所示.

将预测的谱流量密度与射电望远镜的灵敏度进行比较, 从而确定通信基站对射电望远镜的干扰量级. 预测结果表明, 需要严格控制25 m射电望远镜3 km范围内通信基站的发射功率.

表 2 各基站到25 m射电望远镜的路径损耗

Table 2 Propagation loss from each base station to 25 m radio telescope

基站编号	经纬度	直线距离 (m)	主要峰数	损耗值 (dB)
1号	87.16853, 43.47475	852.87	0	97.63
2号	87.15576, 43.48062	2069.90	1	115.56
3号	87.15814, 43.47872	1801.40	3	179.77
4号	87.15199, 43.47770	2221.60	0	108.81
5号	87.14146, 43.47386	2977.90	1	143.54

表 3 测试天线在240°–300°方向接收到的谱流量密度

Table 3 Spectral pfd received by testing antenna in the direction of 240°–300°

厂商	基站编号	接收功率 (dBm)	谱流量密度 (dB(W/(m ² Hz)))	总谱流量密度 (dB(W/(m ² Hz)))
中国联通	1号	–68.13	–119.79	–119.72
	2号	–86.06	–137.72	
	3号	–150.27	–202.43	
中国移动	4号	–79.31	–131.47	–131.47
	5号	–114.04	–166.20	

表 4 25 m射电望远镜在240°–300°方向接收到的谱流量密度

Table 4 Spectral pfd received by 25 m radio telescope in the direction of 240°–300°

厂商	基站编号	接收功率 (dBm)	谱流量密度 (dB(W/(m ² Hz)))	总谱流量密度 (dB(W/(m ² Hz)))
中国联通	1号	–44.13	–155.61	–155.54
	2号	–62.06	–173.54	
	3号	–126.27	–237.75	
中国移动	4号	–55.31	–166.79	–166.79
	5号	–90.04	–201.52	

5 结果和讨论

本文针对通信基站对射电望远镜的干扰问题, 提出了一种基于相对地形的电磁干扰预测方法. 该方法将采用地理信息系统提取的地形高程数据转换成相对地形数据, 采用Deygout模型, 计算了基站天线到射电望远镜馈源口面的路径损耗, 通过与实测数据的对比, 验证了该方法的有效性. 该方法有助于识别台址周围已存在的干扰源和未来可能出现的影响射电观测的潜在干扰源, 并为干扰的抑制提供依据, 同时为下一步自主研发射电望远镜电磁干扰预测软件提供基础.

参考文献

- 1 Waterman P J. Conducting radio astronomy in the EMC environment. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 1984, EMC-26: 29–33
- 2 Wilson C, Storey M, Tzioumis T. Measures for control of EMI and RFI at the Murchison radioastronomy observatory, Australia. In: *Proceedings of 2013 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*. Melbourne: IEEE, 2013. 1–4
- 3 Liu B, Fang Z. Brief analysis of radio management of radio astronomy service (in Chinese). *Chin Radio*, 2009, 3: 51–56 [刘斌, 方正. 射电天文业务的无线电管理浅析. *中国无线电*, 2009, 3: 51–56]
- 4 Ambrosini R, Bolli P, Bortolotti C, et al. Radio frequency self-interference from a data processing centre at a radio telescope site. *Exp Astron*, 2010, 27: 121–130
- 5 Bolli P, Gaudiomonte F, Ambrosini R, et al. The mobile laboratory for radio-frequency interference monitoring at the Sardinia radio telescope. *IEEE Antennas Propag Mag*, 2013, 55: 19–24
- 6 Li J B, Peng B, Liu D L. Site spectrum monitoring of electromagnetic environment for large radio telescopes (in Chinese). *Chin J Radio Sci*, 2015, 30: 378–382 [李建斌, 彭勃, 刘东亮. 大型射电望远镜电磁环境频谱监测. *电波科学学报*, 2015, 30: 378–382]
- 7 Xu Q L, Qiu Y, Tian J, et al. Interference coupling analysis based on a hybrid method: Application to a radio telescope system. *Res Astron Astrophys*, 2018, 18: 014, arXiv: 1711.03257
- 8 Qiu Y, Xu Q L, Tian J, et al. On the interference characteristics of fully steerable radio telescope (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2017, 47: 059511 [邱扬, 许清琳, 田锦, 等. 全可动射电天文望远镜的电磁干扰特征研究. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2017, 47: 059511]
- 9 Wen R B. Impact of electromagnetic radiation on the surrounding environment of GSM mobile communication base station (in Chinese). *Eco Environ Sci*, 2011, 20: 1158–1160 [温锐彪. GSM移动通信基站对周围环境电磁辐射影响. *生态环境学报*, 2011, 20: 1158–1160]
- 10 Liu J, Ting S W, Sarkar T K. Base-station antenna modeling for full-wave electromagnetic simulation. In: *Proceedings of 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. Memphis: IEEE, 2014. 2106–2107
- 11 Liu Q, Chen M Z, Li Y, et al. A study of evaluation of electromagnetic radiation levels of electronic devices near a radio telescope (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2015, 12: 292–298 [刘奇, 陈卯燕, 李颖, 等. 射电天文台址电子设备电磁辐射评估. *天文研究与技术*, 2015, 12: 292–298]
- 12 Chio C K, Ting S W, Zhao X, et al. Prediction model for radiation from base-station antennas using electromagnetic simulation. In: *Proceedings of 2012 Asia-Pacific Microwave Conference*. Kaohsiung: IEEE, 2012. 4–7
- 13 Ming W, Gaoguang L, Dan S, et al. Base station electromagnetic simulation using ray-tracing method. In: *Proceedings of 6th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics*. Shanghai: IEEE, 2012. 360–362
- 14 Liu Q, Wang N, Wang Y, et al. A quasi-real-time method for radio environment measurement of radio astronomical observatory (in Chinese). *Chin J Radio Sci*, 2017, 32: 718–724 [刘奇, 王娜, 王玥, 等. 射电天文台站准实时电波环境测量方法. *电波科学学报*, 2017, 32: 718–724]

Prediction method for electromagnetic interference of communication base station to radio telescope

XU QingLin^{1*}, QIU Yang¹, TIAN Jin¹ & LIU Qi²

¹ School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

² Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Radio telescopes have extremely high sensitivity and wide operating frequency range. When performing observation tasks, they will not only receive the signals generated by the observed targets, but also receive electromagnetic interference signals inside and outside the radio telescope site. These interference signals, especially the interference from communication base stations, will affect the accuracy of the observation. In order to predict the electromagnetic interference of the communication base station to the radio telescope, an electromagnetic interference prediction method based on relative terrain is proposed. This method converts the terrain elevation data into relative terrain data, taking the relative height of terrain as the criterion, and calculates the path loss of the communication base station to the radio telescope by using Deygout model. Then, combined with the parameters of the base station antenna, the interference power of the communication base station to the radio telescope is obtained. This paper focuses on the analytical process of the proposed method, which provides a good foundation for developing the electromagnetic interference prediction software of radio telescope.

radio telescope, communication base station, relative terrain, electromagnetic interference prediction

PACS: 95.55.Jz, 84.40.Ua, 41.20.Jb

doi: [10.1360/SSPMA-2019-0023](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2019-0023)