

# 地震废墟环境下 Wi-Fi 无线信号 传播模型参数测量<sup>1</sup>

武有文<sup>1, 2)</sup> 洪利<sup>1, 2)</sup> 姚振静<sup>2)</sup> 韩智明<sup>2)</sup> 李亚南<sup>2)</sup>

1) 中国石油大学(华东), 山东青岛 266580

2) 防灾科技学院, 河北三河 065200

**摘要** 本文主要针对地震废墟下手机 Wi-Fi 无线定位, 分析实际废墟环境下 Wi-Fi 2.4G 无线信号的传播特性。通过对废墟结构的分析, 使用矢量网络分析仪进行信道测量, 对大尺度和小尺度衰减两种特性进行信道分析。采取理论预测和实际测量分析相结合的方法, 对 2008 年 5·12 汶川地震的极重灾区遗址进行了废墟实地测量。对大尺度衰减进行路径损耗和钢筋混凝土吸收损耗分析, 对小尺度衰减进行了平均超量时延和均方根时延分析, 利用加窗、计算滑动均值, 得到废墟下 2.4G 无线信号的传播规律, 为下一步定位工作提供理论基础。

**关键词:** Wi-Fi 信道 建模 定位 路径损耗

## 引言

我国是地震灾害多发的国家(高孟潭等, 2008)。如何快速有效地获取和评估灾情信息已成为降低地震损失的重点研究内容(崔丽萍等, 2016)。目前, 我国在地震后主要依赖于传统的搜救犬或生命探测仪等进行搜救工作。由于生命探测仪在工作时受距离、光线、废墟材质、温度和湿度等因素影响, 在进行搜救时具有盲目性和不确定性, 这在一定程度上限制了其应用。除了直接探测人体生命特征的探测技术, 通过探测受灾人员身边的一些能发出信号的物品, 以此来找到受灾人员的相关技术也逐渐成为生命探测领域的重要发展方向。

随着无线通信技术的发展, 约 80% 的人持有带 Wi-Fi 的智能手机和平板电脑(Chen 等, 2010a), 绝大部分人都将手机随身携带。当地震引发建筑物坍塌时, 手机和平板电脑成为散落在人们身边的仅有设备。通过对这些设备进行探测和定位, 可以间接地找到被压埋的人员的大概位置, 再配合生命探测设备, 即可将人员及时救出。

目前手机检测方法分为被动式和主动式 2 种(柴伦尚, 2014)。由于被动式手机检测通过手机信号进行探测, 要求手机处于联网状态, 因此, 该方法对处于通信网络中断状态的手机

**1 基金项目** 地震科技星火计划项目: 基于手机搜索的生命探测平台的研究(XH14072)

**[收稿日期]** 2016-06-29

**[作者简介]** 武有文, 女, 生于 1993 年。硕士生研究生, 研究方向: 无线通信技术。E-mail: xiaoyouzi56@qq.com

**[通讯作者]** 洪利, 男, 生于 1968 年。博士后, 教授。研究方向: 灾害监测技术与仪器。E-mail: hongli2050@qq.com

是无效的。地震发生后，房屋道路坍塌，各处线路中断，基站被破坏，加上暴雨等次生灾害的影响，往往导致通信链路及无线网络中断（李世雄等，2016），手机等设备无法与基站进行通信，且被压埋者通常丧失行为能力，无法对手机进行操作或尝试连接网络，因此被动式手机检测方法不适合用于检测救援。主动式手机检测方法是指手机主动对外发射某种信号，外界通过对该信号进行采集和处理，再根据定位算法得到手机位置，代表技术主要有全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、辅助全球定位系统（Assisted Global Positioning System, AGPS）、基站通讯系统（Location Based Service, LBS）及 Wi-Fi 定位技术（Wi-Fi Positioning System）。GPS 一般用于空旷的户外定位，进行复杂的室内定位时，存在较大误差；AGPS 需要基站辅助 GPS 精确定位，而震后基站被毁，无法进行定位；LBS 同样需要手机处于联网状态时才能用来对手机定位。Wi-Fi 定位通过对手机发射的 Wi-Fi 信号进行采集与滤波处理，结合定位算法，得到手机位置。因构建 Wi-Fi 无线网络和使用矢量分析仪成本较低，且操作简易，本文采用基于主动手机探测 Wi-Fi 定位方法，对废墟信道进行测量分析。

研究基于 Wi-Fi 的手机定位救援方法，首先需要分析地震废墟环境下 Wi-Fi 无线信号的传播特征及相应的传播规律，为基于信号强度指示（Received Signal Strength Indication, RSSI）定位算法的运用提供理论支撑。

传统的无线信道研究主要包括对城市区域的室内、室外、室内到室外 3 种范围的传播模型研究（Turin 等，1972；Toeltsch 等，2002），其结论表明，传统的无线信道传播模型并不适用于震后废墟环境。只有通过震后废墟环境下的无线信道进行理论估计和实际测量，才能获得其传播特性，从而建立适用的无线信道模型。国外对灾害环境下的无线信道传播模型有一定研究，但都是针对移动通信标准的频段，如 434MHz、868MHz（DiCarlofelice 等，2015）、900MHz 和 1800MHz（Chai 等，2013），而国内相关的研究较少。柴伦尚（2014）提出“基于 GSM 和 DCS 体制的手机定位方法的无线信道研究”，也是针对移动通信频段电波信号传播的无线信道进行建模仿真，实现主动式手机探测定位方法。

本文对废墟下 Wi-Fi 2.4G 频段传输的无线信号进行测量，对数据处理后得到信道冲击响应，并得到功率的延迟分布，以分析信道大小尺度的表征参数。在实际废墟测量场景下，分析了信号的频率响应，最终建立了路径损耗模型。该模型分为自由空间损耗和穿透废墟的损耗两部分，然后对该模型进行了仿真验证。小尺度参数主要包括平均超量时延和均方根时延。

## 1 废墟环境下无线电波传播特性

地震灾害发生后的废墟坍塌状况在受灾程度和建筑环境等因素的影响下各不相同，不同建筑材料对信号的损耗也各不相同，导致路径损耗衰减指数变化较大（柴伦尚，2014；Jiao 等，2014），因此无法用通用模型模拟不同的灾害环境，分析和提取有用的随机信道参数，并得到灾害现场信道的真实传播规律。

无线信号在传输过程中遇到障碍物时有可能发生直射、反射、绕射和散射现象（郑金金，2013；Cheng 等，2015）。基于这些现象的影响，信号在无线信道中的衰减一般分为大尺度衰减和小尺度衰落 2 种（刘江涛，2011；Jayaram 等，2014）。

### 1.1 大尺度衰减

大尺度衰减特性由无线电波传输路径损耗和阴影衰减组成。无线通信中，发射机和接收

机的距离越远,接收到的信号强度越小,即信号强度的损耗随着距离的增大而增大,这种强度的变化是指数型的。根据路径损耗模型,如果已知发送端无线电波的强度和距离,则可以推算出接收端无线信号强度;如果已知收发两端的无线信号强度,则可以推算出发送机和接收机之间的距离,这种理论广泛用于定位算法中,例如基于 RSSI 的各种定位算法等。阴影衰减效应是指无线电波在传播过程中碰到较大的障碍物时(如剧烈的地势变化以及高大建筑物阻挡),穿透障碍物导致其能量发生衰减。这两种衰减的产生都是由于信号传输距离较远,故为大尺度特性。

自由空间的路径损耗可表示为:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

式中,  $P_t$  表示发射端发射的电磁波的功率,  $G_t$  发射天线的增益,  $G_r$  接收天线的增益,  $\lambda$  表示电磁波的波长,  $d$  为接收天线和发射天线之间的距离,  $L$  表示系统损耗因子(与传播无关)。接收和发送天线信号功率差值为损耗,记为  $P_{L\text{-free}}$ , 换算成分贝为:

$$P_{L\text{-free}} = -10\lg(P_r/P_t) = -10\lg\left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right] \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

发射天线和接收天线为单位增益  $G_t = G_r = 1$  时可表示为:

$$P_{L\text{-free}} = -10\lg(P_r/P_t) = -10\lg\left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right] \quad (3)$$

或表示为:

$$P_{L\text{-free}} = -10\lg\left[\frac{(c/f)^2}{(4\pi)^2 d^2}\right] = 20\lg d + 20\lg f - 10\lg\left[\frac{c^2}{(4\pi)^2}\right] \quad (4)$$

式中  $c$  为光速,  $f$  表示频率。由式(4)可知路径损耗随收发天线间距离和信号频率的增大而增大。现有的研究中使用的信号最高频率为移动通信频段的 1800MHz, 因其频率高导致信号穿墙损耗严重, 通信频段定位需要与基站通信, 不适合地震等灾后环境。基于 Wi-Fi 的定位救援原理是在现场布排接入点(Access Point, AP, 即简单路由), 激发手机与其通信, 捕获信号并进行定位分析, 相比基站定位, 有较高时效性和可操作性。

## 1.2 小尺度衰减

相比于大尺度衰减,无线信道小尺度衰减特性指当待测设备移动较小的距离时,接收信号在短期内发生的非常小的变化,表现为接收信号在幅度、相位或时延上快速变化的现象。小尺度衰减主要是由于多径现象和多普勒现象造成的。无线电波在实际信道传输过程中,信号遇到障碍物时会发生散射、反射和绕射现象,产生多条路径,最终到达接收端的信号相当于多条路径上的信号叠加所得结果,即多径现象。多普勒现象是由于接收机和发射机之间相对运动造成的。

小尺度衰减有 2 个主要特点,分别为电磁波的时延扩展和无线信道的时变特点。多径现象使信号在时域表现为时延扩展,可用平均超量时延和均方根时延来表示;在频域表现为选择性衰减,可以用相关带宽来表示。在极小时间间隔内,废墟下无线信道可视为快速时不变系统(Chai 等, 2013), 所以平均超量时延及均方根时延都可以使用功率延迟分布(PDP)来计算。

功率延迟分布为本地的瞬时功率分布的平均值，实际上常以信道的脉冲响应来计算，即：

$$p(t) = E(|h(t)|^2) \quad (5)$$

式中， $p(t)$  为功率延迟， $h(t)$  为信道脉冲响应。功率延迟分布的一阶矩为平均超量时延 (Mean Excess Delay)，用  $\bar{\tau}$  表示：

$$\bar{\tau} = \frac{\sum t \cdot p(t)}{\sum p(t)} = D \quad (6)$$

均方根 (Root Mean Square) 时延扩展  $\tau_{\text{rms}}$  是平均超量时延的标准差：

$$\tau_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} = \sqrt{\frac{\sum (t-D)^2 \cdot p(t)}{\sum p(t)}} \quad (7)$$

相关带宽用  $B_c$  表示，与选择的信道频率正相关，可以通过均方根时延  $\tau_{\text{rms}}$  进行计算：

$$B_c = \frac{1}{2\pi \cdot \tau_{\text{rms}}} \quad (8)$$

在无线信道的小尺度建模之中，莱斯分布和瑞利分布是使用最广泛的两种建模方式。

## 2 废墟环境信道测量

当前主要的信道测量方法有 2 种 (孟娟, 2009)，即时域测量法和频域扫频测量法。前者通过发射端不断发送脉冲信号，用带通滤波器在接收端进行接收，再对数据进行一系列数学处理即可得到信道脉冲响应。后者在频域进行测量，在接收端捕捉穿过信道后的数据，再利用傅里叶反变换即可获得信道的复数响应。时域测量系统对发送信号的时间分辨率及接收端示波器采样率的要求较高，导致系统复杂度和成本较高，加上废墟环境本身存在诸多的影响因素，所以本文主要采用频域扫频测量方法。该方法操作较容易，设备需求少，需要的主要仪器为矢量网络分析仪 (Vector Network Analyzer, VNA)，只要增加所测量的带宽即可提高系统分辨率。通过对不同类型的实际废墟场景下的无线信道进行频域测量，以及对测量数据进行处理，得到各类型废墟场景的无线信道参数表征和不同类型的信道转换函数 (Channel Transmission Function, CTF)，再对其进行傅里叶反变换得到时域响应函数。

### 2.1 信道测量设计

由于所测环境为震后废墟场景，震后供电一般遭到破坏，再加上测量环境复杂，为了更快、更高效地确定该环境下信道模型，本文使用自带储电功能且方便携带的矢量分析仪，实验采用安捷伦手持式矢量网络分析仪 N9918A。

本文运用频域扫频测量方法进行信道测量，测量系统框架如图 1 所示。系统包括手持式矢量网络分析仪 N9918A、功率放大器、一对收发天线。实验中所有的设备通过同轴电缆连接，所测数据则通过 USB 接口保存到 U 盘中。在无线信道测量实验中，天线参数的选择对结果影响较大。由于常用路由器天线在水平方向上是全向的，实验所用的路由器也为全向天线。Chai 等 (2013) 的研究表明，垂直极化的接收信号强度大于水平极化方式，故本实验选择使用垂直极化方式接收信号。

### 2.2 废墟环境无线信道测量

本文中進行信道测量的现场是“5·12”汶川地震的极重灾区——北川老县城的震后废墟

堆。接收天线与矢量网络分析仪直接相连，发射天线固定在废墟内部高 1m 的支架上，测量时，接收天线固定不变，发射天线可随支架自由移动（模拟救援定位过程）。废墟内部设置一个  $N \times M$  的矩形方格阵，如图 2，间隔为 1m。在测量时，方格阵尽可能覆盖整个废墟内部可能有人员生还的小空间。对方格阵每个节点上的值进行多次测量，取均值作为结果进行最终计算。

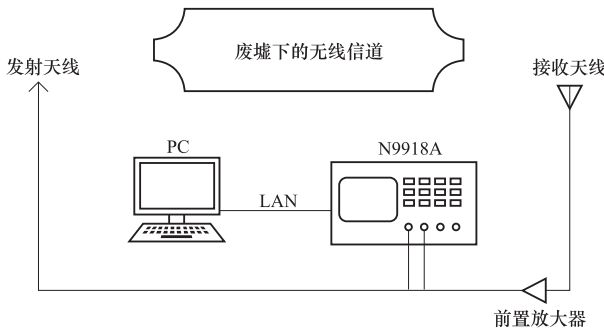


图 1 频域扫频测量系统框架图

Fig. 1 Block diagram of the measurement system

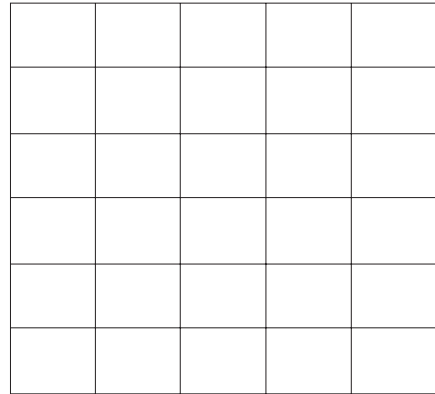


图 2 测量用  $N \times M$  点阵

Fig. 2 The designed rectangular arrays for the measurement

实际测量情况见图 3，测量场景为北川县曲山小学遗址。图中为小学 3 层教学楼，震后基本全部倒塌，选择废墟内部较大的一个空间进行测量，入口为图中所示 C 处，所测区域在图中 C 处的右侧，长 7m，宽 5m，高 2m，设置  $4 \times 6$  点阵，记为  $P_1 - P_{24}$ 。测量示意图如图 4，五角星表示接收天线与网格的相对位置，实际接收天线在测量空间入口处，即图 3 中的 C 处。



图 3 曲山小学测量点整体情况

Fig. 3 Ruins in Qushan primary school. The ellipse indicates the entrance of experiment



图 4 测量场景内部图

Fig. 4 Internal scene of the measurement

### 3 废墟信道参数分析

对矢量网络分析仪所采集的数据按式 (9) 进行计算, 获得频域的信道传递函数:

$$H(f) = \sum_{k=0}^{N-1} H(k) \delta(f - k\Delta f - f_0) \quad (9)$$

式中,  $\Delta f$  是频率步长,  $N$  是步数,  $f_0$  是起始频率,  $H(k)$  是测量时记录的数据。对于线性信道, 离散脉冲响应  $h(n)$  可使用离散傅里叶反变换 IDFT 由频率响应计算得出:

$$h(n) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} H(k) e^{-\frac{2\pi jkn}{N}} \quad (10)$$

式中,  $N$  代表样本数目。时域采样间隔  $T$  等于  $1/\Delta f$ , 步长  $\Delta t = T/N = 1/(N \cdot \Delta f)$ 。由公式 (11), 运用信道脉冲响应  $h(n)$  计算得到功率延迟分布, 得到文中所示废墟环境下无线信道模型大小尺度参量模型。

#### 3.1 信道大尺度参数分析

功率时延分布 (Power Delay Profile, PDP) 描述信道在时间上的色散, 指发射功率经过多径信道的传输后在接收端的能量分布, 假设为广义平稳非相关散射 (Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering, WSSUS) 信道, 则可用下式计算:

$$P(t) = \langle |h(t)|^2 \rangle = \left| \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \delta(t - \Delta t) \right|^2 \quad (11)$$

式中,  $\langle \dots \rangle$  表示取括号中值的平均值;  $N$  为采样数, 本文中为 201;  $\Delta t$  为时间步长, 本文为 10ns。

信道大尺度衰减用  $P_L$  表示, 包括无线信号在空气中的传播损耗和穿透废墟损耗, 两者分别用  $A_{\text{free}}$  和  $A_{\text{ruin}}$  表示。  $P_L$  可表示为:

$$P_L = A_{\text{free}} + A_{\text{ruin}} \quad (12)$$

通过对多次测量的数据进行滑动平均计算, 得到测量场景下的频率响应, 计算得到  $h(n)$ , 并对其运用滑动平均的方式进行处理。

$P_1$  和  $P_{24}$  分别为测量中路径损耗最大和最小的 2 个点, 其路径损耗情况如图 5 所示。主要原因是  $P_1$  距离天线最近, 损耗较小, 而  $P_{24}$  离天线最远, 损耗比较大。通过计算, 路径损耗标准差在 [1.38dB, 4.14dB] 区间变动。

在对场景进行信道特征实际测量时, 记录了各个测量点收发端的相对位置, 即能确定接收和发射天线之间距离, 由式 (13) 可求得无线信号在传播过程中的损耗:

$$P_{L-\text{free}} = -10 \lg \left[ \frac{(c/f)^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] = -20 \lg \left[ \frac{c}{4\pi f d} \right] \quad (13)$$

式中  $c$  是光速,  $f$  是无线信号频率,  $d$  是收发天线之间距离。结合式 (14) 可以计算得到信号穿透废墟损耗:

$$A_{\text{ruin}} = P_L - A_{\text{free}} = P_L - P_{L-\text{free}} \quad (14)$$

在不同频段, 不同障碍物对无线信号的阻碍效果是不同的, 地震后, 墙体坍塌后露出的钢筋支架、水泥、钢筋混凝土墙体、木头或合成材料造的家具等混合在一起, 共同阻碍信号的传播。

理论上, 可以将混合材料分割后抽象为若干层障碍物叠加的模型, 估计损耗可由式 (15) 表示:

$$A_{\text{ruin}}^* = \sum_{k=1}^N a_k h_k \quad (15)$$

式中,  $a_k$  表示第  $k$  层材料的损耗因子,  $h_k$  表示第  $k$  层障碍物的厚度。信号经过不同材料时的穿透损耗是由材料的内部组成结构决定的, 针对不同种类单位数量的材料对各频段信号的阻碍效果, 一些文献 (Chai 等, 2013; Chen 等, 2010b) 已进行了详细的研究与说明。如图 6 (柴伦尚, 2014) 所示, 可以推断出在 2400MHz, 钢筋混凝土层的穿透损耗为 0.463—0.464dB/cm。

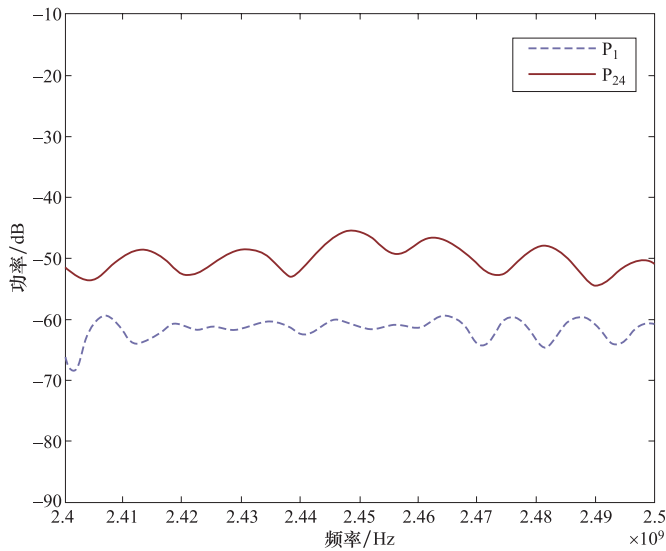


图 5 曲山小学 Wi-Fi 2.4G 频段路径损耗

Fig. 5. Path loss of Wi-Fi 2.4G in Qushan primary school

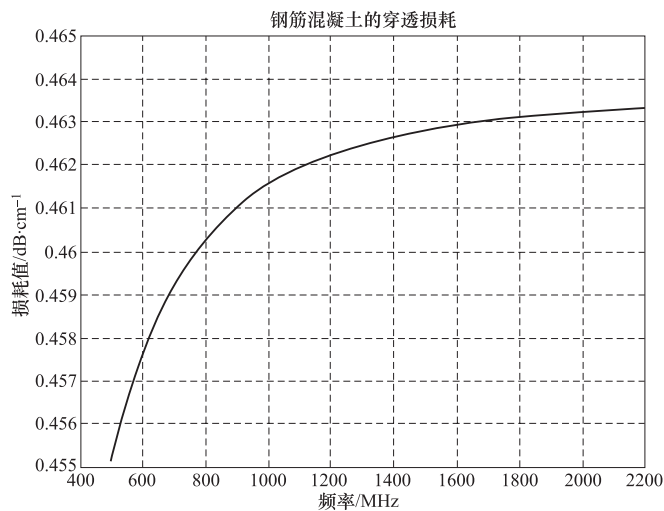


图 6 钢筋混凝土在不同频段下的穿透损耗

Fig. 6 Ferro-concrete penetration loss with different frequency bands

本文中测量的废墟场景下，收发天线间主要的阻挡物是钢筋混凝土材质的墙体，测量得到穿透损耗值为约 0.92dB/cm。因此，在接下来的计算中，取频率在 2450MHz 时测得的穿透钢筋混凝土的损耗因子 0.92dB/cm。由此，可用公式  $A_{\text{ruin}} = a_{\text{ferroconcrete}} \times h_{\text{ferroconcrete}}$  技术出穿透损耗预测值，式中  $a_{\text{ferroconcrete}} = 0.92\text{dB/cm}$ ， $h_{\text{ferroconcrete}} = 28\text{cm}$  为本文场景中的钢筋混凝土层的厚度，再根据公式 (14) 计算得到穿透损耗测量值。在 2450MHz 时的无线信号穿过钢筋混凝土层的预测值和测量值如图 7。

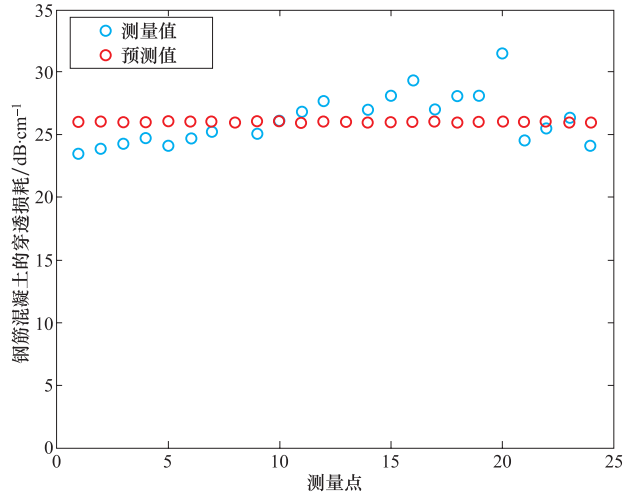


图 7 2450MHz 钢筋混凝土层穿透损耗的预测值与测量值

Fig. 7 Ferro-concrete the predicted and measured values of the ferro-concrete penetration loss in 2450MHz

由图可知，实际测量值围绕预测值上下波动，但不是很剧烈。原因是实际测量环境下混凝土层不可能完全一样，不同点的厚度、密度及内部材料的构排都存在差值，属于不可避免的误差，加上震后混凝土层上碎土和碎石堆积以及裂缝等，造成电磁波穿过混凝土层时被吸收、散射、衍射和泄露，使各点的衰减各不相同。在  $P_1$ — $P_{20}$ ，混凝土损耗测量值呈上升趋势，这是因为测量点的 ID 值越大越靠近横梁，信号穿透的横梁厚度有细微的变化；在  $P_{21}$ — $P_{24}$  点位，测量值也呈起点不同的上升趋势，这是由于混凝土层并不是水平的，而是有一定的斜度，导致各点到所穿透点的距离不完全一样，存在细小差别。经过计算测量值与预测值误差约为 3.81dB。

### 3.2 信道小尺度参数分析

本节主要研究小尺度特性的 2 个参数特征，分别为平均超量时延  $\bar{\tau}$  和均方根时延扩展  $\tau_{\text{rms}}$ 。平均超量时延是衡量信号多径分量的能量集中度，可以通过对多径分量幅值的平方进行加权平均计算得到：

$$\bar{\tau} = \frac{\sum t \cdot P(t)}{\sum P(t)} = \frac{\sum_{n=1}^N \tau_n |\alpha_n|^2}{\sum_{n=1}^N \alpha_n^2} \quad (16)$$

式中， $P(t)$  代表测量数据中的功率延迟分布，已由式 (11) 求出， $\alpha_n$  表示在测量中不同多径分量的幅度值， $\tau_n$  表示不同多径分量对应的各自的时延。



均方根时延用  $\tau_{\text{rms}}$  来描述无线信道中多径效应引起的频率选择性衰减现象。数字通信系统中, 如果 2 个脉冲的发送间隔  $\Delta t < \tau_{\text{rms}}$  会导致相邻的脉冲发生串扰, 使得接收端无法正确判别信号。为了避免码间串扰, 要求  $\Delta t > \tau_{\text{rms}}$ , 而增大  $\Delta t$  会限制码速和系统传输速率。均方根时延可由式 (17) 来计算:

$$\tau_{\text{rms}} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \tau_n^2 |\alpha_n|^2}{\sum_{n=1}^N \alpha_n^2} - \left( \frac{\sum_{n=1}^N \tau_n |\alpha_n|^2}{\sum_{n=1}^N \alpha_n^2} \right)^2} \quad (17)$$

实际通信中, 由于频带有限宽, 信号码元都存在一定的扩展, 接收到的每一个码元都会受到在该脉冲之前其他码元的扩展干扰, 距离该脉冲越近, 干扰越大。

## 4 结论

本文通过对“5·12”汶川地震灾害区北川老县城遗址的实际测量, 分析了地震废墟环境下无线信号传播模型的参数特性。主要从大尺度和小尺度衰减两方面进行分析。路径损耗主要通过反傅里叶变换进行计算和分析, 并计算得到其标准差在 [1.38dB, 4.14dB] 间波动。另外, 研究了钢筋混凝土对 Wi-Fi 2.4G 无线信号的穿透损耗, 通过分析其损耗因子为  $a_{\text{ferroconcrete}} = 0.92\text{dB/cm}$ 。小尺度衰减包括平均超量时延和均方根时延扩展的特性。分析表明, 相比移动通信频段, Wi-Fi 2.4G 信号频率较高, 无论是在自由空间传播还是穿透废墟, 都有比较快的衰减, 限制了传播距离。但震后基站被毁, 手机和基站通讯中断的情况下, 无法采集手机 GSM900 和 GSM1800 信号进行定位。本文研究基于手机 Wi-Fi 的主动探测方法, 可通过尽可能多的安置接入点来克服传播距离短的缺点, 提高定位精度, 这比其它被动手机检测更容易实现, 同时具备便利和低成本的优势。本文的结果可为下一步进行震后手机定位探测研究提供理论基础。

## 参考文献

- 柴伦尚, 2014. 基于灾害现场定位搜救技术的无线信道研究. 杭州: 浙江大学.
- 崔丽萍, 王晓青, 2016. SAR 影像建筑物震害检测方法研究综述. 震灾防御技术, **11** (2): 239—250.
- 高孟潭, 周本刚, 潘华, 2008. “5·12”汶川特大地震灾害特点及其防灾启示. 震灾防御技术, **3** (3): 209—215.
- 李世雄, 朱华桂, 2016. 基于受灾者关键期自救的应急救援物资结构研究——以地震灾害为例. 震灾防御技术, **11** (1): 153—164.
- 刘江涛, 2011. 无线通信信道的仿真与研究. 武汉: 湖北工业大学.
- 孟娟, 2009. 海洋石油平台环境下的超宽带信道建模. 青岛: 中国石油大学 (华东).
- 郑金金, 2013. OFDM 系统联合同步与信道估计算法研究. 长沙: 湖南大学.
- Chai L. S., He J., Wei X. C., 2013. Radio channel modeling and measurement of a localization rescue system. IEEE Antennas & Propagation (ISAP), **2**: 1060—1063.
- Chen L., Loschonsky M., Reindl L. M., 2010a. Large-scale fading model for mobile communications in disaster and salvage scenarios. Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2010 International Conference.
- Chen L., Ostertag T., Loschonsky M., et al., 2010b. Measurement of mobile radio propagation channel in ruins. Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS), 2010 IEEE International Conference.

- Cheng Y. M., Qu H., Chen W. D., et al. Joint synchronization and channel estimation algorithm based on RLS. *Systems Engineering and Electronics*, 2012, **34**(4):795—801.
- DiCarlofelice A., DiGiampaolo E., Feliziani M., et al., 2015. Experimental characterization of electromagnetic propagation under rubble of a historic town after disaster. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **64**(6):2288—2296.
- Jiao H., Shang C., Chang W. X., et al., 2014 Radio frequency channel characterization of a novel localization system for rescue in disaster scenarios// General Assembly and Scientific Symposium. IEEE, 1-4.
- Jayaram M. N., Venugopal C. R., 2014. Modeling-Simulation of an Underground Wireless Communication Channel., In *Proceedings of International Conference on Internet Computing and Information Communications*. Springer, 81—91.
- Oestges C., 2013. Radio channel models for search-and-rescue missions into collapsed structures. *Ursi International Symposium on Electromagnetic Theory*.
- Toeltsch M., Laurila J., Kalliola K., Molisch A. F., Vainikainen P., and Bonek E., 2002. Statistical characterization of urban spatial radio channels. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **20**: 539—549.
- Turin G. L., Clapp F. D., Johnston T. L., Fine S. B., Lavry D., 1972. A statistical model of urban multipath propagation. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, **21**(1): 1—9.

## Parameter Measurement of Wi-Fi Radio Signal Propagating in Constrction Ruins by Earthquake

Wu Youwen<sup>1,2)</sup>, Hong Li<sup>1,2)</sup>, Yao Zhenjing<sup>2)</sup>, Han Zhiming<sup>2)</sup> and Li Ya'nan<sup>2)</sup>

1) China University of Petroleum, Qingdao 266580, China

2) Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065200, China

**Abstract** In this paper, we analyzed the transmission characteristic of Wi-Fi 2.4G wireless signal in the actual ruins environment, and studied the mobile phone Wi-Fi wireless location under the construction ruins by earthquake. Based on the analysis of the structure of the ruins, the vector network analyzer is used to measure the channel, and channel analysis is carried out from both large and small scale fading. After combining the theoretical prediction and experimental measuring at the site of “5 • 12” Wenchuan earthquake in China in 2008, the campaign is conducted from large scale fading and small scale attenuation parameters. Large scale attenuation is carried out by analyzing the path loss and the penetration loss of some particular materials, and small scale attenuation is experienced by analyzing the mean excess delay and the root mean square delay. With the methods including window added and moving average, we obtain the regulation of the Wi-Fi 2.4G radio signal which is essential for further localization.

**Key words:** Wi-Fi; Channel; Modeling; Localization; Path loss