

陈雪纯, 张入千, 王立新. 基于 Wi-Fi 信号强度衰减模型的地震埋压人员定位方法研究[J]. 华南地震, 2018, 38 (4): 10–16. [CHEN Xuechun, ZHANG Ruqian, WANG Lixin. Research on Positioning Method of Earthquake Buried Personnel Based on Signal Strength Attenuation Model of Wireless Network[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(4): 10–16]

基于 Wi-Fi 信号强度衰减模型的地震埋压人员定位方法研究

陈雪纯¹, 张入千¹, 王立新^{2,3,4}

(1. 香港城市大学深圳研究院, 深圳 518000; 2. 广东省地震局中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070;
3. 广东省地震局广东省地震监测预警与重大工程地震安全诊断重点实验室, 广州 510070;
4. 深圳防灾减灾技术研究院, 深圳 518003)

摘要: 我国地震灾害频频发生, 震后在大量钢筋混凝土、砖石和杂物的覆盖下, 确定埋压人员的准确位置是展开救援工作的难点。使用一种基于 Wi-Fi 信号强度衰减模型的地震埋压人员定位算法, 通过在埋压人员周边部署三台 Wi-Fi 信号发射器, 利用发射信号与埋压人员手机接收信号的变化, 有效解决定位难的问题。在不同地震灾后场景下进行大量的实验测试, 并通过混合滤波对实验数据去噪, 计算出不同环境中误差最小的环境参数, 构建信号衰减模型; 在此基础上, 应用改进后的加权质心定位算法最终得出一种较为精确的可用于地震埋压人员位置确定的方法。

关键词: 信号强度; 混合滤波; 测距模型; 三角定位

中图分类号: P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2018)04-0010-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.04.002

Research on Positioning Method of Earthquake Buried Personnel Based on Signal Strength Attenuation Model of Wireless Network

CHEN Xuechun¹, ZHANG Ruqian¹, WANG Lixin^{2,3,4}

(1. City University of Hong Kong, Shenzhen 518000, China; 2. CEA Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China;
3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Earthquake Early Warning and Seismic Safety Diagnosis of Major Projects, Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China 4. Shenzhen Academy of Disaster Prevention and Reduction, Shenzhen 518000, China)

Abstract: Earthquake occurs frequently in China. The accurate positioning of buried people under the coverage

收稿日期: 2018-10-20

基金项目: 广东省科技计划项目(2015A020217007); 广东省地震监测预警与重大工程地震安全诊断重点实验室开放运行项目(2017B030314082)

作者简介: 陈雪纯(1995-), 硕士, 主要从事数据处理分析研究。E-mail: 923189593@qq.com.

通信作者: 王立新(1976-), 博士, 研究员, 主要从事地震工程方面研究。E-mail: wlxustc@hotmail.com.

of a large amount of reinforced concrete, masonry and debris is a difficult task. In this paper, a positioning algorithm of buried people based on the Wi-Fi signal strength attenuation model is proposed. By deploying three Wi-Fi signal transmitters around the buried people, the variation of signals transmission and signals received from the mobile phone can locate the buried people. This paper conducts experiments in various post-earthquake scenarios, and the experimental data are denoised by hybrid filtering. The environmental parameters with the least error in different scenarios are calculated and the signal attenuation model for ranging is constructed. The results show that improved triangulation centroid algorithm performs better on buried people positioning.

Keywords: Signal strength; Ranging model; Hybrid filtering; Triangulation localization

0 引言

我国地震频发,地震发生后快速开展埋压人员搜救是减少人员伤亡的首要任务。目前搜救方法主要有基于生命迹象的人工搜索、搜救犬搜索、探测仪定位等^[1],但现有的搜救方式存在探测区域小、易受干扰、对深埋人员效果不佳等不足。鉴于当前智能手机普及率高,且均具备 Wi-Fi 功能,同时信号比生命体特征信号强等特点^[2],本文探索利用 Wi-Fi 无线信号特性估计地震埋压人员距离及位置,设计出一套基于 Wi-Fi 信号强度衰减模型的地震埋压人员定位方法。通过该方法可快速准确地确定埋压人员的具体位置,从而有针对性地分配救援力量,及时高效地展开救援。

目前基于无线信号的定位算法有通过位置指纹算法计算位置估计值^[3],需在前期建立数据库对移动终端的接收信号强度指示值 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 进行匹配,并不适用于地震发生后的人员定位;另一种定位算法为三角定位算法,可以利用各信号发出节点到待测的接收节点的距离,用几何算法得出待测节点的位置^[4]。三角定位算法在实际应用中可在被压人员周边搭建三台无线信号发射器,通过发射器与埋压人员位置的测距算法得到三个相对距离,将距离信息结合定位算法可进一步确定埋压人员位置。三角定位算法应用场景灵活,不依赖于设备和使用人员,是较理想的地震埋压人员定位算法。

三角定位算法中针对信号发射器和埋压人员距离估计的测距技术包括基于信号强度(RSSI)衰减、基于电波传播时间(TOA)、基于电波传播时间差(TDOA)和基于电波入射角(AOA)的测量技术^[2]。由于信号传输的速度非常快,短距离传播的时间几乎可以忽略不计,因此基于传播时间的 TOA 和 TDOA 定位技术并不适合用地震埋压人员的定位。

无线信号遇到障碍物时会被反射,易受到灾后混乱环境和人员移动等的干扰,导致基于电波入射角(AOA)的测量方法准确度很低。对比发现,基于信号强度 RSSI 衰减的测距方法能根据接收定位服务器测量到的接收信号强弱和已知的电波信号衰减模型,估算接收方和发射方的距离^[5],是较理想的灾后人员搜救定位技术。前人文献表明,为了降低由实际应用环境中的多径、绕射、障碍物等不稳定因素对无线信号传输产生的影响,采用统计均值模型、中值滤波、高斯滤波^[6]、递推均值滤波^[7]、迪克逊检验滤波^[8]等方法来校正 RSSI 值,可使其更准确的反映无线信号的传输距离。本文综合考虑了现有滤波算法,通过在兰州国家陆地搜寻与救护基地实地测试,最终使用混合滤波算法对 RSSI 值进行修正,确定了基于 Wi-Fi 信号强度衰减模型参数,并使用了最优的三角定位算法,最终设计出一套较准确的地震埋压人员定位方法。

1 基于 Wi-Fi 信号强度的衰减模型研究

1.1 测距模型

无线信号的强度随着传播距离的增加而衰减,接收方与发送方离得越远,接收信号强度就越弱^[9]。根据接收到未知节点的信号强度和已知的信号衰减模型,可以估算出收发方之间的距离。本文采用简化后的 Wi-Fi 信号衰减模型^[10]作为救援定位测量中的测距模型:

$$RSSI = -10n \lg d + A \quad (1)$$

其中, RSSI 值代表待测的接收端信号强度, d 为信号发射节点与待测接收节点之间的距离, 常量 A 和 n 是反映外界环境影响因素的环境参数, 其中 A 为发射节点与待测节点之间的距离, d 为 1 m 时测得的 RSSI 值; n 为信号衰减因子, 范围一

一般为 1~4^[10]。如何确定衰减因子 n 的值对模型的准确性至关重要,不同环境下的衰减因子不同^[11],环境干扰越少,信号衰减越慢,无线信号覆盖的范围越广。 A 和 n 是经验值,与具体使用的硬件节点和无线信号传输环境密切相关。在不同的环境情况下,运用最小二乘法对实验数据进行参数估计,选择与实际 RSSI 值拟合度最高的 A 和 n 值作为环境因子,以降低预测误差^[6]。具体环境参数估计实验步骤如下:

(1) 选取适当位置作为接收信号节点 a (如图 1 所示),并固定好。

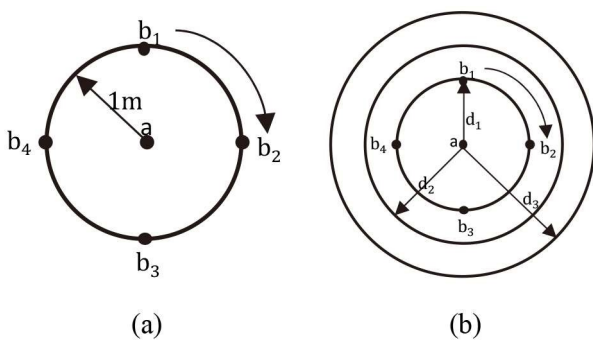


图 1 环境参数估计

Fig.1 Environmental parameters estimation

(2) 以 a 为圆心, 1 m 为半径画圆 O 。在圆上选取一点作为发射节点 b_1 , 在 b_1 位置以稳定功率连续发射功率信号, 测量一组 100 个数据。

(3) 为减少方向性产生的辐射偏差, 以 b_1 为起点, 沿着 O 顺时针方向转 90° , 得到发射节点 b_2 。在 b_2 完成第二组 100 个数据的测试。以同样的方式完成在 b_3 和 b_4 节点的第三组和第四组 100 个数据的测试, 如图 1(a)。

(4) 接着, 距离接收节点 a 分别以 d_1 、 d_2 、 \dots 、 d_k (间隔为 0.5 m) 依次向外延伸选取发射节点, 并重复上述 (2)、(3) 过程, 每个位置点多次采集信号数据, 如图 1(b) 所示。得到所需的 RSSI 实测值, 采用合适的滤波处理算法, 减少异常值的影响。

(5) 将 (4) 过程中处理后的 RSSI 值代入式 (1) 的测距模型, 取距离 1 m 时接收信号强度的平均值作为参数 A 的取值。再取拟合度最高的 n 值作为测距模型中参数 n 的取值。

1.2 滤波处理

基于信号强度 RSSI 衰减的测距方法依据的是

在理论环境下, RSSI 值和无线信号强弱与传输距离之间的确定关系。但在实际应用环境中, 多径、绕射、障碍物等外部环境因素会影响无线信号传输的稳定性, 导致 RSSI 转换的数值并不能准确反映出实际信号发出节点与待测接收节点之间的距离。精准定位很大程度上依赖于信号传输损耗模型的构建及距离的估计, 因此, 采用滤波处理的方式降低 RSSI 值的误差尤为关键。在前文提到的测距模型参数估计实验中, 每个位置点都多次采集信号数据, 同一位置点能得到一组 100 个的 RSSI 实测值; 距接收节点 a 的特定距离下又包含四组不同方向的数据。因此要得到特定距离的信号强度值, 需要对 400 个 RSSI 实测值采用合适的滤波处理算法进行处理, 以减少异常值的影响。

1.1.1 均值滤波

均值滤波是指节点将收到的一组 RSSI 值求算术平均值, 以平均值作为测量结果。如式 (4) 所示:

$$\overline{R}_{d_i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \text{RSSI}_{d_i, k} \quad (4)$$

在前文环境参数估计中提到, 信号发射节点 i 与信号接收点 a 的距离为 d_i , 用 \overline{R}_{d_i} 表示接收节点接收到来自 i 节点的均值 RSSI; 把来自同一位置的数据采集次数总数记为 n , 其中单独的一次数据记为第 k 次记录, $\text{RSSI}_{d_i, k}$ 则表示接收节点收到的来自 i 节点的第 k 次信号的强度。均值滤波简单易实现, 当同一个位置的数据采集次数 n 很大时, 可以较好地解决 RSSI 数据随机性问题, 但如 RSSI 波动较大时, 该方法可信度下降。

1.1.2 滑动平均滤波

滑动平均滤波算法的原理是把连续取得的 n 个 RSSI 采样值看做一个队列, 对进入队列的数据采取先进先出的原则, 即当一个新的采样数据进来时, 将之放在队尾, 并将之前队首的数据丢弃, 对队列中的 n 个数据取算术平均值, 作为滤波结果输出。滑动平均滤波算法的优点是能很好地抵制周期性的干扰, 输出较为平滑, 但对脉冲干扰引起的偏差不太容易消除。

1.1.3 中值滤波

中值滤波是一种非线性滤波, 在一维情况下, 中值滤波器是一个含有奇数个样本的窗口; 在处理时, 将样本正中间的值作为滤波输出。令 d_i 处接收到的信号功率分别为 $\text{RSSI}_{d_i, 1}$, $\text{RSSI}_{d_i, 2}$, \dots , $\text{RSSI}_{d_i, n}$, 窗口长度为奇数 n , 将这个数列按其数值

大小排列, 取其序号为中间者作为滤波输出, 如式(5)所示:

$$R_{d_i} = \text{Med} \{ \text{RSSI}_{i,1}, \text{RSSI}_{i,2}, \dots, \text{RSSI}_{i,n} \} \quad (5)$$

中值滤波很大程度上避免了偏离正常值较大的错误值对测量结果的影响, 但在样本数不多的情况下, RSSI 波动较大时, 该方法滤波效果并不理想。

1.1.4 高斯滤波

高斯滤波主要是通过选取高概率发生区的 RSSI 值, 然后以其算术平均值作为滤波输出高斯分布^[12], 以此来减少极端异常值对模型效果的影响。对于接收节点 a 收到的同来自 i 节点的一组信号, 其 RSSI 值 $\{\text{RSSI}_{i,1}, \text{RSSI}_{i,2}, \dots, \text{RSSI}_{i,n}\}$ 服从 $(0, \sigma^2)$, 也称为正态分布, 满足如下概率密度函数:

$$p(\text{RSSI}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\text{RSSI}-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

其中 μ 为同一位置采集的 RSSI 均值, σ 为采集的 RSSI 标准差。区间 $(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$ 发生的概率为:

$$p = (\mu-\sigma \leq \text{RSSI}_{d_i, k} \leq \mu+\sigma) = 0.6826 \quad (7)$$

通常可以认为发生概率大于 0.6 的事件为高概率发生事件。则区间 $(\mu-\sigma \leq \text{RSSI}_{d_i, k} \leq \mu+\sigma)$ 对应的 RSSI 值为高概率发生值, 将高斯滤波筛选的 RSSI 值的个数记为 m , 将这 m 个 RSSI 值的算术平均作为滤波优化的 RSSI 值输出。即

$$\bar{R}_d = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \text{RSSI}_{d_i, k}, \text{RSSI}_{d_i, k} \in (\mu+\sigma) \quad (8)$$

高斯滤波部分地解决了 RSSI 实际测试中稳定性差、易受干扰等问题, 但对于样本数不多、长时间干扰等问题该方法可信度下降。

1.1.5 混合滤波

单一滤波处理只能从某一方面降低误差, 使用混合滤波处理 RSSI 值, 不但兼具各个单一滤波处理的优点, 并且处理后的 RSSI 值误差较为平稳。狄克逊检验滤波能有效用于 RSSI 异常值剔除, 但剩余值需要与其他的滤波算法结合以提高滤波性能^[13]。混合使用高斯滤波能剔除零散的小概率错误, 以及滑动平均滤波能抵制周期性干扰。此外, 使用均值滤波、中值滤波、高斯滤波的混合滤波(将各种单一滤波处理结果再做均值处理)处理 RSSI 值, 处理后的 RSSI 值最大误差均小于单独使用其中一种方法的最大误差, 并且误差较平稳。混合滤波算法对提高 RSSI 稳定性的性能较好, 也能在一定程度上降低 RSSI 的误差。

2 定位算法

2.1 传统定位算法原理

本文的定位算法采用三角定位, 三角形定位的过程主要分为测距与定位两个阶段。在测距阶段, 待测点首先接收来自三个不同已知位置 Wi-Fi 发射设备发出的 RSSI, 然后依照上述无线信号的传输损耗模型将其转换成待测目标到相应发射位置的距离。在定位阶段, 分别以已知位置的三个 Wi-Fi 信号发射点为圆心, 用其各自到待测点的距离为半径做圆, 所得三个圆的交点即为待测点位置。

将 3 个已知 Wi-Fi 发射点的平面坐标表示为 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$, 通过联立三圆方程求解可确定待测节点 $O(x, y)$ 的位置^[14]。半径 d_1 、 d_2 、 d_3 由式(1)求得, 分别表示由 RSSI 信号传输模型得到的三个已知发射节点到未知接收节点的距离。在理论环境下, 三圆应交于一点如图 2 所示:

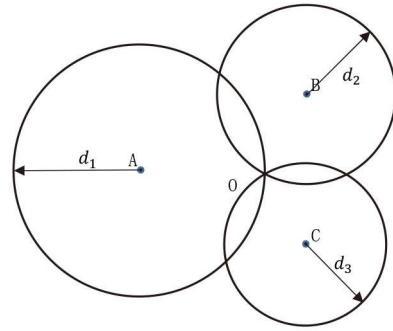


图 2 三点定位原理示意图

Fig.2 Three-point positioning principle diagram

但在实际情况中, 由于 RSSI 测量值与实际值之间的误差, 导致估计出的三圆半径存在偏差, 三圆通常不会出现一个公共交点, 而是交汇于一个区域。那么未知节点就位于所有圆的交集部分^[15], 如图 3 所示:

三个圆的交点形成三角形的三个顶点, 表示为 $M(x_m, y_m)$ 、 $N(x_n, y_n)$ 、 $L(x_l, y_l)$, 可以此三角形的质心作为未知节点的预测位置。通过普通质心算法, 可得待测节点 $O(x, y)$ 的位置坐标:

$$x = \frac{x_m + x_n + x_l}{3} \quad (14)$$

$$y = \frac{y_m + y_n + y_l}{3} \quad (15)$$

以上普通质心定位算法并没有考虑不同顶点的贡献程度, 每个顶点由两个距离决定, 与待测节点距离越远, 对应顶点的权重应该越小^[15]。

2.2 修正的加权质心算法

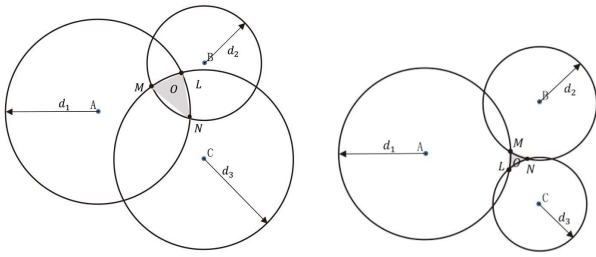


图3 三圆共区域

Fig.3 Three circles intersect in the same area

基于已知发射节点远近带来的影响程度不同这一原因,一种利用加权因子来体现已知节点对质心位置的影响程度的算法被用于改进质心定位^[16]:

$$x = \frac{x_m / (d_1 + d_2) + x_n / (d_2 + d_3) + x_l / (d_3 + d_1)}{1 / (d_1 + d_2) + 1 / (d_2 + d_3) + 1 / (d_3 + d_1)} \quad (16)$$

$$y = \frac{y_m / (d_1 + d_2) + y_n / (d_2 + d_3) + y_l / (d_3 + d_1)}{1 / (d_1 + d_2) + 1 / (d_2 + d_3) + 1 / (d_3 + d_1)} \quad (17)$$

其中加权因子 $1/(d_1+d_2)$ 、 $1/(d_2+d_3)$ 、 $1/(d_3+d_1)$ 体现了不同顶点的贡献,遵循距离与权重呈反比的实际情况。 $M(x_m, y_m)$ 、 $N(x_n, y_n)$ 、 $L(x_l, y_l)$ 表示三圆的交点,交点 M 由 d_1 、 d_2 决定;交点 N 由 d_2 、 d_3 决定,交点 L 同理。为了更好地确定各节点的权重关系,相关学者对以上的加权质心模型做了新的改进^[15]如下:

$$x = \frac{x_m \times (1/d_1 + 1/d_2) + x_n \times (1/d_2 + 1/d_3) + x_l \times (1/d_3 + 1/d_1)}{2 \times (1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3)} \quad (18)$$

$$y = \frac{y_m \times (1/d_1 + 1/d_2) + y_n \times (1/d_2 + 1/d_3) + y_l \times (1/d_3 + 1/d_1)}{2 \times (1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3)} \quad (19)$$

改进后的加权质心定位算法充分利用了测量数据的信息,还在权值的选取中合理安排了信息的权重。此模型中当 $d_1 > d_2$ 时,表示 A 点比 B 点离待测节点更远,相对而言起到次要作用,比之前的模型更加强调了 B 相对于 A 的主要贡献,而并不是 A、B 的同等贡献。

但是实际测量中,也可能存在三圆非两两相交的情况,即 M 、 N 、 L 不一定都存在。完成测距后,三个已知 Wi-Fi 节点形成的圆的分布有如图 4 所示几种特殊情况:

若三圆各不相交, M 、 N 、 L 则取两圆圆心连线与两圆交点的中间点作为测量所用的点。如

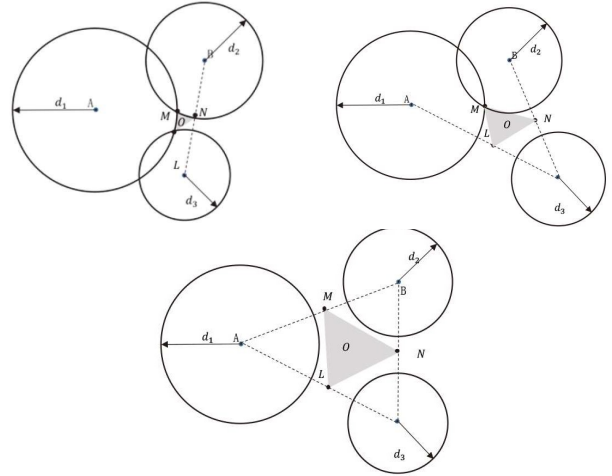


图4 三圆非两两相交

Fig.4 Three circles didn't cross each other

果出现两圆相交且都与第三圆不相交,则根据两圆交点中与第三圆圆心距离最近的点作为三角形顶点的原则,与其余两个圆心连线中点组成三角形 M 、 N 、 L 。

3 实验与分析

实验中使用了三个相同型号的 Wi-Fi 发射器 (IntoRobot Atom 主控板 Wi-Fi) 进行数据采集。并且我们设计了五种地震后埋压人员所处环境,估计不同环境下的 A 和 n 取值。五种环境包括:

(1)室内空旷环境下, Wi-Fi 装置和埋压人员手机不同距离的信号强度。

(2)Wi-Fi 装置和手机中间隔一堵墙时,不同距离的信号强度。

(3)Wi-Fi 装置和手机中间隔两堵墙时,不同距离的信号强度。

(4)手机置于厚度约为 2.5 m 的废墟下时,不同距离的信号强度。

(5)手机置于厚度约为 3.7 m 的废墟下时,不同距离的信号强度。

在实验过程中,发现当 Wi-Fi 装置和手机中间隔三堵墙或更厚的废墟时,手机已经搜不到信号,因而未设计此类环境。后续研究可更换信号强度更大的 Wi-Fi 发射器,再进一步开展相关实验。

3.1 测距模型参数估计

在确定测距模型参数估计前需要确定最为合适的滤波处理方式,本文使用 Wi-Fi 装置和手机在室内间隔一墙环境下的数据来选取最优的滤波

处理方式。

我们采用 MATLAB 进行数据处理，选取拟合度最高的四组 A 和 n 值作为测距模型中环境参数的取值，最终以估计距离和实际距离的均方误差作为标准选取滤波处理方式；均方误差越小说明该种滤波处理方式应用到传输模型中求的距离误差最小。图 5 为间隔一门情况下四种滤波处理方式的计算结果，表 1 列出了对应的均方误差。

根据表 1 中的 MSE 可以看出，混合滤波处理方式的均方误差最小，这说明混合滤波效果最佳，因此在测距时本文都将采用经混合滤波处理后的 RSSI 值建立模型。

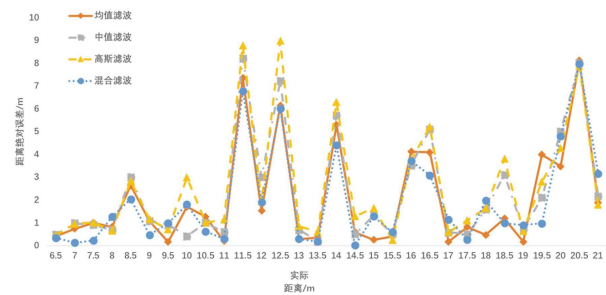


图 5 距离绝对误差
Fig.5 Absolute errors of distance

通过将混合滤波处理的 RSSI 值代入测距模型中，我们求得了五种环境下的参数估计值，如表 2 所示。

表 1 四种滤波处理的均方误差
Table 1 MSE of 4 filter processing methods

滤波处理	均值滤波	中值滤波	高斯滤波	混合滤波
MSE	9.03	10.95	12.69	8.17

表 2 五个不同环境的参数估计
Table 2 Parametric estimation of five environments

实验环境	环境参数 A	信号衰减因子 n
室内空旷	-36.08	2.86
Wi-Fi 装置和手机间隔一墙	-42.77	2.49
Wi-Fi 装置和手机间隔两墙	-52.79	2.21
厚度为 2.5 m 的废墟中	-58.93	2.14
厚度为 3.7 m 的废墟中	-86.27	1.68

3.2 定位实验

在进行定位模拟时，本文选取了与实际情形最为吻合且较为环境复杂的厚度 3.7 m 的废墟进行研究。实验选用 A、B、C 三个 Wi-Fi 信号发射

器，以 0.5 m 为间隔采集信号接收器与手机相距不同距离时的 RSSI 强度，同样采用混合滤波处理方式对于采集的滤波信号进行处理。

定位计算过程如图 6 所示，A、B、C 三点与被埋压人员之间的实际距离相等，因此 A、B、C 三点构成等边三角形。通过实际距离可以计算出手机的实际坐标，预测坐标可以由定位算法得出，对比预测坐标与实际坐标的误差可以判断该实验模型的好坏。

为了验证实验模型的好坏，本文选取了四个距离的实验数据进行对比。如表 3 所示，随着实际距离的增大，预测坐标与实际坐标之间的差异也在不断增加。由此可知，Wi-Fi 距离被埋压人员越近定位结果越准确；距离越远误差越大，但仍在可接受的范围，并不影响该方法在实际救援中的应用。

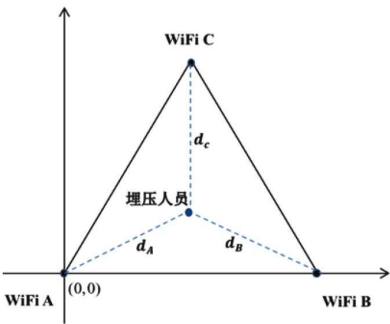


图 6 定位实验
Fig.6 Target location experiment

表 3 实际坐标与估计坐标对比
Table 3 Comparison of actual coordinates and estimated coordinates

距离/m	x	\hat{x}	y	\hat{y}
5	4.33	4.23	2.5	2.45
10	1.73	8.88	5	5.22
15	12.99	14.8	7.5	6.64
20	17.32	20.27	10	9

4 结论

本文根据方法研究和实验分析，结合地震埋压定位场景，系统地介绍了一种基于 Wi-Fi 信号发射装置和移动终端信号接收设备的地震埋压人员定位方法。本文确定了基于 RSSI(接收信号强度)的测距模型作为震后人员定位距离测量的方法，采用混合滤波处理信号 RSSI 值能最有效地降

低接收方和发射方的估算距离误差。实际测试结果表明,采用改进后的加权三角质心定位算法,在厚度 3.7 m 的废墟中,5 m 范围内定位精度可达 0.11 m,20 m 范围内测距误差小于 3 m,约为测距距离的 15%。基于手机 Wi-Fi 的信号衰减模型及三角定位算法可有效提高搜救效率,为震后埋压人员搜救提供了可行方案。

参考文献:

- [1] 周雪昂,杨健宇,康青春. 地震埋压现场人员的搜索和救援[J]. 消防技术与产品信息,2009,4:63-65.
- [2] 何寿清,王挺. 基于手机定位服务的地震灾情速报和搜救技术探讨[J]. 华南地震,2012,32(4):67-74.
- [3] 魏菲,李允俊,金华. 使用位置指纹算法的 Wi-Fi 定位系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2014,14(5):29-32.
- [4] 徐日明,庄长远,俞斌. 基于 RSSI 的动态修正室内无线定位算法 [J]. 电脑知识与技术: 学术交流,2010(01X): 686-688.
- [5] 方震,赵湛,郭鹏,等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报,2007 (11):2526-2530.
- [6] 陶为戈,朱映华,贾子彦. 基于 RSSI 混合滤波和最小二乘参数估计的测距算法[J]. 传感技术学报,2012,25(12):1748-1753.
- [7] 孙铁强,朱明辉. 一种基于 RSSI 的混合滤波算法[J]. 工业控制计算机,2015 (10):64-65.
- [8] Chen Y C, Sun W C, Juang J C. Outlier detection technique for RSS-based localization problems in wireless sensor networks [C]//SICE Annual Conference 2010, Proceedings of. IEEE, 2010: 657-662.
- [9] 张利. 基于 Wi-Fi 技术的定位系统的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2010.
- [10] 于明. 基于 WI-FI 无线局域网定位算法的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2013.
- [11] 朱明辉. 基于 RSSI 的煤矿井下人员定位算法研究[D]. 武汉:华北理工大学,2016.
- [12] 章坚武,张璐,应瑛,等. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报,2009,22(2):285-288.
- [13] 潘东波,郭晓金. 基于狄克逊检验法的 RSSI 值处理方法研究[J]. 广东通信技术,2012(9):77-79.
- [14] 靳超,邱冬炜. 基于 Wi-Fi 信号室内定位技术的研究[J]. 测绘通报,2017 (5):21-25.
- [15] 刘运杰,金明录,崔承毅. 基于 RSSI 的无线传感器网络修正加权质心定位算法[J]. 传感技术学报,2010,23(5):717-721.
- [16] 陈维克,李文锋,首珩,等. 基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006(02):265-268.