

# 基于 LTE 方向型传播模型的模拟退火加权定位算法

王卫红 严鲁琴 杨洁

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

**摘要** 针对 LTE 网络采集到的 MRO 数据,提出一种基于 LTE 方向型传播模型的模拟退火加权定位算法。先结合 LTE 定向天线和小区特性,引入方向型参量提出基于 RSS 的方向型传播模型,对传统的信号传播模型 COST-231 Hata 进行改进;然后提出距离比加权算法消除 RSS 波动误差,将定位问题转换为一元求解问题,使用模拟退火算法计算最优解;最后通过距离椭圆模型对结果进行方位校正,得到最终终端定位结果。算法对比实验结果表明,基于 LTE 方向型传播模型的模拟退火加权定位算法具有较高的定位精度,完全符合 FCC 规定的定位精度要求。

**关键词** LTE,终端定位,RSS,方向型传播模型,模拟退火加权

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.05.045

## Simulated Annealing for Weighted Localization Algorithm Based on LTE Directional Propagation Model

WANG Wei-hong YAN Lu-qin YANG Jie

(College of Computer Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract** According to the collected MRO(Measurement Report Original) data on LTE(Long Term Evolution), the simulated annealing for weighted localization algorithm based on the LTE directional propagation model was proposed. Firstly, combined with the LTE directional antenna and cell site characteristics, the directional propagation model based on RSS with introducing the direction type parameter was put forward, which improves the traditional signal propagation model COST-231 Hata. Then, the distance ratio weighted algorithm was proposed to eliminate the RSS(Received Signal Strength) fluctuation error, which transforms the positioning problem to the question of solving one variable. Afterwards, the simulated annealing algorithm was used to calculate the optimal solution. Finally, the elliptical distance model was used to correct the azimuth for the final terminal positioning result. Algorithm contrast experimental results show that the simulated annealing for weighted localization algorithm based on the LTE directional propagation model has higher positioning accuracy, which accords with the positioning accuracy of the FCC rules completely.

**Keywords** LTE, Terminal positioning, RSS, Directional propagation model, Simulated annealing for weighted

## 1 引言

近年来,4G 网络已经在我们的生活中得到广泛的应用,LTE(长期演进)作为 4G 网络的无线标准,较 3G 网络而言其数据传输速率提高了 3~5 倍,极大地满足了人们对移动设备传输速率的需求。与此同时,基于位置服务(LBS)已然成为最热门的移动应用,被越来越多的人所关注。因此,研究基于 LTE 网络的终端定位算法具有重要的现实意义。

目前,普遍使用的基于网络的定位方法主要有 Cell-ID, AOA, TOA, TDOA 和 RSS 等。Cell-ID 的定位精度与小区的覆盖范围有关,定位精度不高;AOA 需要复杂的天线阵列且信号受多径影响,并且实施成本高、定位误差大;TOA 和 TDOA 作为目前较为常见的定位方法,有着严格的时钟同步

要求,实现比较困难;较其他几种方法而言,RSS 具有无终端硬件和时钟同步要求,实现成本低等优点,是一种相对简单、低耗的定位技术。

为了提高 RSS 的定位精度,国内外学者提出了多种改进算法。文献[1-3]都对传播模型进行了改进,提高了定位精度。其中文献[1]提出了模型改进和孤点检测算法,在现有的 Okumura Hata 模型的基础上,增加修改因子实现对模型的改进,并对定位结果进行孤点的检测,减小了定位误差。文献[3]提出了基于信号接收强度差的双曲线定位技术,使用最小二乘法对接收信号强度的差模型进行定位计算,消除了信号强度测量误差,保证定位的准确度。模式识别方法<sup>[4]</sup>是 RSS 定位的另一种常见方法。最常见的是指纹识别法,文献[5-9]都对指纹定位算法进行了研究,并证明了其准确性。但是,指

到稿日期:2016-04-16 返修日期:2016-08-13 本文受浙江省自然科学基金重点项目:空间大数据信息智能提取关键技术研究(LZ14F020001),国家自然科学基金专项基金项目:面向粒度化环境的遥感可信计算研究(61340058)资助。

王卫红(1969—),男,硕士,教授,主要研究方向为空间信息服务、网络技术与安全、遥感信息提取等,E-mail:wwh@zjut.edu.cn;严鲁琴(1991—),女,硕士生,主要研究方向为移动网络定位;杨洁(1991—),女,硕士生,主要研究方向为移动大数据分析。

纹识别定位算法需要采集大量数据进行持续训练,工作量较大,实现条件苛刻。综合考虑各 RSS 定位方法的优缺点,本文提出方向型传播模型,实现对现有模型的改进,并通过模拟退火加权定位算法计算终端位置,最后对定位结果进行方位校正,实现最终定位。

## 2 相关工作

### 2.1 信号传播模型

在无线定位过程中,由于信号在传播过程中会出现反射、散射和绕射等现象,信号的传播路径具有一定的随机性,建立合适的传播模型是提高定位精度的一个关键因素<sup>[10]</sup>。目前为止,人们已经总结得到一些信号强度损耗的传播模型,主要包括 Okumura-Hata 模型、COST-231 Hata 模型、Okumura 模型、COST-231 WI 模型以及 Lee 模型等。其中,COST-231 Hata 模型<sup>[11]</sup>是 Okumura-Hata 传播模型的一种扩展版本,较 Okumura-Hata 模型而言,该模型能够更好地拟合 LTE 信号传播的路损情况,本文将选择 COST-231 Hata 模型作为原始信号传播模型。

COST-231 Hata 模型示意图如图 1 所示。其适用范围如下:频率为 1500~200MHz,小区辐射范围为 1~20km,基站天线有效高度为 30~200m,终端接收天线高度为 1~10m。

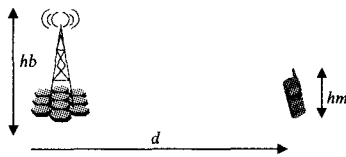


图 1 COST-231 Hata 模型说明

模型路径损耗公式如下:

$$L(dB) = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) - a(h_m) + C_{cell} + C_{terrain} + C_M \quad (1)$$

注:  $f$  为频率(MHz),  $h_b$  为基站天线有效高度,  $h_m$  为终端接收天线的有效高度,  $d$  为终端与基站之间的距离(km),  $a(h_m)$  是终端天线的有效高度的修正因子,如式(2)所示:

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.11 \log(f) - 0.7)h_m - (1.56 \log(f) - 0.8), & \text{中小城市} \\ 8.29[\log(1.54h_m)]^2 - 1.1, & \text{大城市, } f \leq 300\text{MHz} \\ 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.97, & \text{大城市, } f \geq 300\text{MHz} \end{cases} \quad (2)$$

由于郊区、农村或宽阔地区的地形与城市地形差异较大,信号传播路径损耗不同,因此添加修正因子  $C_{cell}$ ,如式(3)所示:

$$C_{cell} = \begin{cases} 0, & \text{城市} \\ -2[\log(\frac{f}{28})]^2 - 5.4, & \text{郊区} \\ -4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.98, & \text{乡村} \end{cases} \quad (3)$$

$C_M$  是个常数因子,具体取值如下:

$$C_M = \begin{cases} 3, & \text{大城市中心} \\ 0, & \text{城市} \\ -12.28, & \text{郊区} \\ -22.52, & \text{乡村} \end{cases} \quad (4)$$

### 2.2 定位算法

RSS 定位方法通常是使用信号传播模型估计终端和多个定位基站之间的距离或者距离方程组,然后将定位问题转变为几何运算或者求解距离方程组的问题进行定位计算。常见的定位算法有质心定位算法、加权质心定位算法、三边测量定位法、最小二乘法以及 Chan 算法等。

加权质心定位算法<sup>[12]</sup>作为经典的定位算法,是对质心算法的改进,其原理为每个基站节点加上权值来优化定位效果。假设终端到基站  $i$  的距离为  $d_i$ ,第  $i$  基站的权值为:  $w_i = \frac{1}{d_i}$ ,

第  $i$  基站的归一化权值为:  $w_i' = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j} = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{d_j}}$ ,那么终端的位

置坐标  $x$  和  $y$  的表达式如下:

$$x = \sum_{j=1}^N w_j' x_j \quad (5)$$

$$y = \sum_{j=1}^N w_j' y_j \quad (6)$$

## 3 RSS 定位算法的改进

### 3.1 方向型传播模型

虽然传统的传播模型在一定程度上能体现信号传播的特性,但是,由于实际无线信道非常复杂<sup>[1]</sup>,为了验证 COST-231 Hata 模型与实际信号传播环境的拟合情况,本文在杭州市区进行了实地数据采集。实地测量主要分为 3 个区域:江干区文体中心、拱墅区城北体育公园和拱墅区上塘移动附近,共选取了 15 个点作为测试点,在不同时间对测试点进行实地终端数据测量,记录下每个测试点的经纬度坐标和测量时间,并从 LTE 网络上采集终端经过这些测试点起止时间内的 MRO 测量数据报告。共采集到 MRO 测量报告数据 700 多条,其中有效数据 500 多条。测量数据和模型理论估计值的对比情况如图 2 所示。

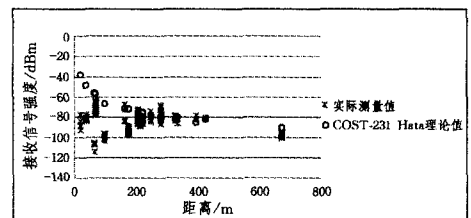


图 2 模型误差比较图

从图 2 中可以看出,模型和实际信息传播情况存在一定的误差。结合实际数据对模型误差进行分析,可发现信号传播的两个特征:1)服务小区 RSRP 较邻区 RSRP 普遍偏大,即服务小区的传播损耗比邻小区要小;2)RSRP 的强弱与小区定向天线方位角的位置存在一定的关联。针对这两个特征,提出相应的改进方案。

3.1.1 服务小区和邻区路损区分

根据 LTE 网络的小区重选机制,终端 UE 始终会选择信道质量更好的小区作为服务小区,所以服务小区和邻区之间存在接收信号强度差,本文通过设置服务小区和邻区的路损偏移量来进行小区区分。根据小区重选原则 R 准则规定,本文路损区分公式如下:

$$\begin{cases} L_s(dB) = P_{bs}(dB) - P_w = COST231 \text{ Hata}(d), & \text{服务小区} \\ L_n(dB) = P_{bs}(dB) - P_w = COST231 \text{ Hata}(d) + L_{offset}, & \text{邻区} \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $L_{offset}$  为服务小区和邻区路损偏移值,取值为 4dB;  $P_{bs}$  为小区最大发射功率;  $P_w$  为终端接收信号强度;  $L$  为信号路径损耗。

3.1.2 定向天线信号辐射强度调整

由于 LTE 网络中的小区信号发射天线普遍为定向天线,而定向天线<sup>[13]</sup>的信号发射具有一定的方向性,在不同方向上的信号发射强度不同,其信号辐射图如图 3 所示。

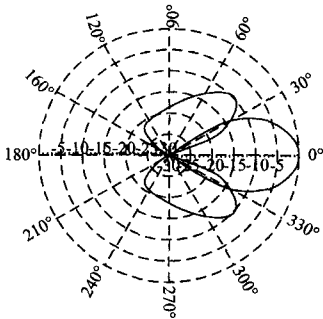


图 3 定向天线信号辐射图

要得到完整的表达定向天线信号的辐射公式,需要知道主瓣宽度、旁瓣电平、前后比、方向系数等特性参数,由于无法得知这些参数,因此将定向天线信号的辐射强度近似看成椭圆形,如图 4 所示。

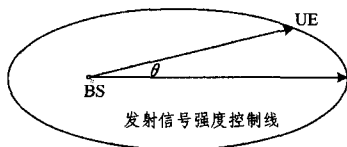


图 4 定向天线辐射椭圆模拟

根据椭圆方向辐射模型,可以将式(7)转换为如下公式:

$$\begin{cases} L_s(dB) = \frac{P_{bs}(1-e)}{1-\text{ecos}\theta} - P_w = COST231 \text{ Hata}(d), & \text{服务小区} \\ L_n(dB) = \frac{P_{bs}(1-e)}{1-\text{ecos}\theta} - P_w = COST231 \text{ Hata}(d) + L_{offset}, & \text{邻区} \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $e$  为椭圆的离心率,其取值为 1/2;  $\theta$  为终端 UE 与小区天线方位角的夹角。

为了验证模型改进的效果,将改进的方向型模型应用到

试验地点 1(江干区文体中心附近)采集到的 5 个测试点 300 多条 MRO 测量报告数据中,误差比较如图 5 所示。改进后的方向型传播模型更符合实际的信号传播情况。

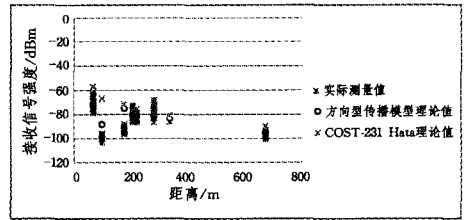


图 5 方向型模型改进误差比较图

3.2 模拟退火加权算法

根据方向型传播模型得到 RSS 和距离的关系后,需要对终端位置进行定位计算。通过分析实地采集数据的 RSS 和距离的关系,可以发现:同一地点、同一终端,不同时间的 RSS 存在着一定的波动。传统的定位算法并没有针对这一现象提出相应的解决方案。本文将使用距离比值来消除 RSS 波动的影响。为提高定位精度,本文将在加权质心算法的基础上进行算法改进,首先使用方向型传播模型得到终端到小区的距离  $d_i$ ,结合加权质心算法可以将距离表示为  $w_i'a$ ,其中权

$$w_i' = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j} = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{d_j}}, a \text{ 未知。这样,就将问题转换为求一元方程最优解的问题,只需找到最优的 } a \text{ 值即可使得终端定位效果最佳。}$$

模拟退火方法从理论上讲是一种全局最优算法<sup>[14]</sup>,正好契合本文需求。

模拟退火算法的关键在于评价函数的选择,本文将选择如图 6 所示的三圆交点所构成的外接圆半径大小作为模拟退火算法的评定函数。

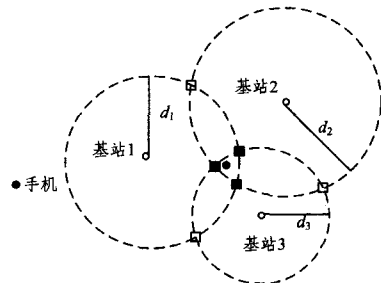


图 6 定位算法示意图

确定了评定函数后,结合模拟退火实现流程,本文提出的模拟退火加权定位算法的具体实现步骤如下:

- 1)初始化。设置初始温度  $T$ 、迭代步长和迭代上限,并随机生成初始状态,即随机生成距离比加权中的  $a_0$ ,以 3 个小区为例,得到初始状态  $S = \{w_1'a_0, w_2'a_0, w_3'a_0\}$ 。
- 2)按照迭代步长得到新的温度  $T_i$ ,计算得到新解  $S' = \{w_1'a_i, w_2'a_i, w_3'a_i\}$ ,使用新解  $S'$  构建分别以  $w_1'a_i, w_2'a_i, w_3'a_i$  为半径,3 小区坐标位置为圆心的 3 个圆  $c_1, c_2, c_3$ ,通过函数  $inter\_area(c_1, c_2, c_3)$  寻找构成最小外接圆的 3 个交点  $p_1, p_2, p_3$ ,并将其代入到目标评价函数外接圆半径函数  $f(x) = inter\_area\_r(x)$  中。比较原始状态  $S$  下的外接圆半径

$r$  和新状态  $S'$  下的  $r'$ , 如果  $r' < r$ , 则接受新解  $S'$  为  $S$ 。如果  $r' > r$ , 则根据式(9)进行判断, 如果关系成立, 则接受  $S'$  为  $S$ 。

$$\min(1, \exp(\frac{\Delta f}{T})) > \text{random}(0, 1) \tag{9}$$

3) 判断温度  $T_i$  是否达到了稳定状态, 如果达到了则转至步骤 4), 否则返回步骤 2)。

4) 判断解  $S$  是否达到收敛状态或者温度是否达到最低, 如果达到则程序结束, 否则降低温度  $T_i$  返回步骤 2)。

模拟退火加权算法的流程如图 7 所示。

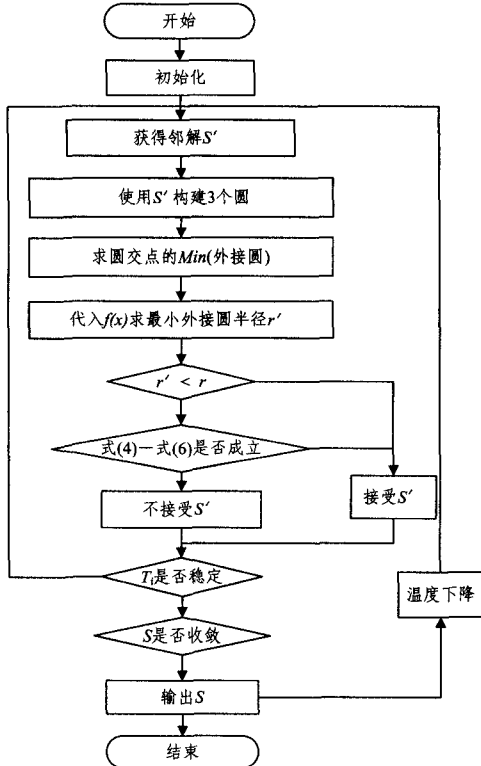


图 7 模拟退火加权算法流程

### 3.3 算法的具体过程

由于方向型传播模型需要参数  $\theta$ , 即 UE 与天线方位角的夹角, 但是实际采集到的 MRO 数据中并没有这一参数, 只有小区天线方位角, 因此无法直接使用方向型传播模型。针对这一问题, 本文根据 LTE 小区选择原理和小区覆盖特征, 先给服务小区和 2 个邻区设置初始  $\theta$  值, 分别为  $30^\circ, 60^\circ$  和  $90^\circ$ , 具体实现流程如下:

1) 提取 MRO 中的服务小区和各邻区的 RSRP 和小区标识 CGI, 对数据进行预处理。首先, 将 RSRP 转换为 RSS; 再通过 CGI 和小区资源信息表进行关联查询, 得到各小区的基本信息(经纬度、天线挂高、方位角、频率等); 最后使用高斯投影变换<sup>[15]</sup>进行经纬度和平面坐标的转换。

2) 将初始  $\theta$  值代入式(8), 求出终端 UE 和小区的距离, 使用模拟退火加权定位算法对终端 UE 进行初步定位, 得到结果 1。

3) 使用结果 1 结合各小区天线方位角和位置信息分别计算出  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  的具体值, 重复步骤 1), 得到终端的位置坐标  $(x, y)$ 。

4) 利用高斯反变换进行平面坐标和大地坐标的转换<sup>[16]</sup>, 得到终端经纬度坐标。

### 3.4 结果方位的校正

由于本文定位算法中的参数  $\theta$  是根据初步定位结果计算得到的, 最终的定位结果存在一定的误差。为了解决这一问题, 本文参考文献[13]结合定向天线辐射特征提出了距离椭圆模型, 基于服务小区对定位结果进行角度和距离的调整。模型示意图如图 8 所示, 取定位结果 1 和小区天线方位角的角平分线上的点作为最终终端 UE 的位置估计点。

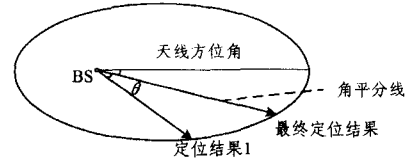


图 8 距离椭圆模型示意图

具体算法为: 使用定位结果  $(x', y')$  通过几何运算得到距离  $d$  和夹角  $\theta$ ; 将两参数代入椭圆式(10), 计算出未知数  $a$ , 得到具体距离椭圆模型; 根据该模型求夹角  $\theta$  的角平分线和椭圆的交点, 得到最终定位结果  $(x, y)$ 。

$$d = \frac{a \times (1 - e^2)}{1 - e \times \cos\theta} \tag{10}$$

## 4 实验与分析

### 4.1 算法比较

为了测量本文定位算法的定位效果, 本文选择加权质心定位算法作为对比算法, 作为比较的加权质心定位算法是基于 COST-231 Hata 模型来实现的。为了能够对定位效果做出综合评价, 本文选择均方根误差 RMSE 和累积分布函数 CDF 两种定位性能评价指标进行算法对比。

使用本文定位算法和加权质心定位算法对实地采集的 500 多条 MRO 数据进行定位计算, 将定位结果和实际测量结果进行距离误差比较。误差比较结果如图 9 所示, RMSE 比较结果如表 1 所列。

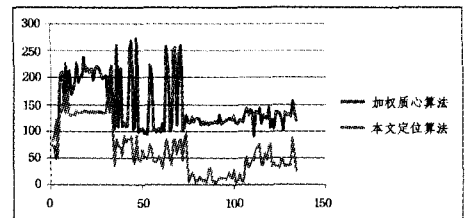


图 9 定位算法误差比较

表 1 算法 RMSE 比较

算法	RMSE	误差平均
加权质心定位算法	156.1296	147.4775
本文定位算法	81.8642	66.3485

从算法比较中可以看出, 无论是在均方根误差还是平均误差方面, 本文所提出的定位算法的定位性能都要比加权质心定位算法好。

结合累积分布函数 CDF 的定义, 对本文的定位算法精度进行分析, 得到表 2 所列和图 10 所示的分析结果。

表 2 算法 RMSE 比较

定位精度范围/m	累积分布函数/%
50	49.3
100	76.8
150	96.4
200	99.3
300	100

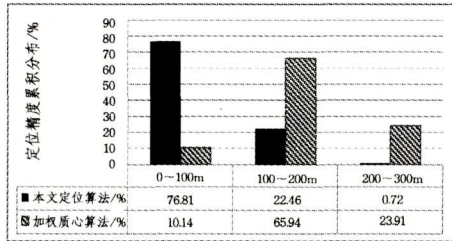


图 10 定位算法累积分布图

通过对各算法累积分布情况的比较,可以看出本文算法的定位精度主要集中在 0~200m 的范围内,概率为 99.28%,定位精度相对较高;而加权质心定位算法的定位精度主要集中在 100~300m 的范围内,定位误差较大。

在完成了对算法的 RMSE 和 CDP 的定位性能分析后,我们发现本文所提出的定位算法具有相对较高的定位精度,同时也符合 FCC<sup>[17]</sup>所规定的定位精度的要求。

为了更加直观地表示本文所提出的定位算法的实际效果,选取 15 个测试点中的 5 个作为比较对象进行可视化显示,定位结果的效果如图 11 所示。

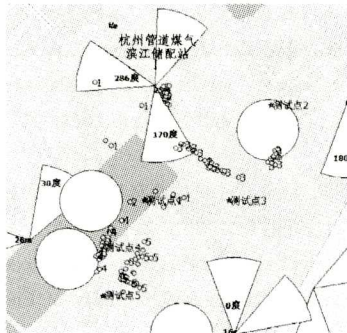


图 11 5 个测试点的定位结果比较图

其中五角星表示的是 5 个固定点位置,圆点则表示的是使用本文算法计算得到的定位结果,扇形和圆形表示的是小区扇形图,大致表示小区的覆盖情况。从图 11 中可以看出,除了固定点 2 以外,本文的定位算法得到的位置估计与实际位置的误差较小,固定点 4 的估计效果最佳,几乎重叠,而且这几个点的整体位置估计轨迹和实际情况也比较接近,这说明本文提出的定位算法具有较好的定位效果。

## 4.2 场景应用

### 4.2.1 单基站 MRO 数据应用

针对单基站 MRO 数据,本文选择杭州市上城区娃哈哈集团附近的一个基站为例进行试验。从 LTE 网络上获取该基站 2014 年 12 月 28 日中午 12:00—13:00 的 MRO 测量报告,共 7000 多条数据,对这些数据进行定位计算,并将定位结果进行地图化显示,效果如图 12 所示。

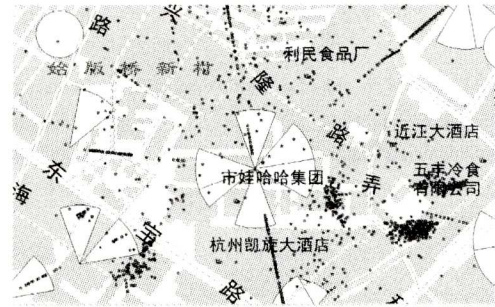


图 12 单基站的定位结果显示图

由于采集到的 MRO 测量报告并没有终端的实际位置信息,无法对定位结果进行误差分析,只能对其结果的合理性进行简单分析。结合地图的实际情况,定位结果主要分布在望江新村小区、娃哈哈集团、秋涛路地铁站等处,与实际可能的人口分布情况较为吻合。

### 4.2.2 区域 MRO 定位应用

针对区域数据,本文采集了杭州市江干区 2015 年 1 月 26 日全天的 MRO 测量报告,共 5000 多万条数据,运用本文的定位算法对这些数据进行了定位计算,最后绘制了 500 \* 500m 的栅格人口密度图。栅格效果图如图 13 所示。

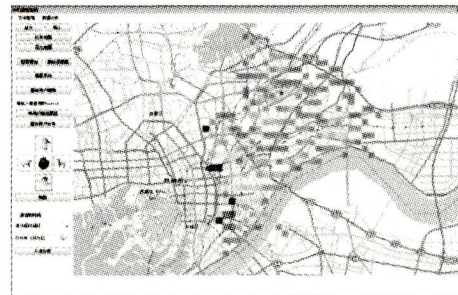


图 13 人口密度栅格效果图

通过对人口密度栅格图的分析,可以看出江干区的整体人口密度比较适中,但在靠近上城区的交界处,人口密度有明显的增长。该栅格图在一定程度上说明了杭州市江干区的人口分布情况。

由此可知,本文所提出的定位算法可应用于更多的 MRO 测量报告中,得到单基站定位效果图和区域人口密度栅格图;同时,该算法还可扩展到更多的应用中去,说明该算法具有一定的普适性。

**结束语** RSS 定位是根据终端和基站之间的接收信号,利用信道传播模型估计终端和多基站之间的距离或关系式,再通过几何运算或方程组求解计算得到终端的位置估计值。为了提高定位精度,本文根据 RSS 定位流程提出了基于方向型传播模型的模拟退火加权定位算法,从模型、定位算法、结果校正 3 方面对算法进行了改进。算法的比较结果表明,本文提出的定位算法的平均定位精度为 66.35m,精度小于 100m 的概率高达 76.18%,具有更高的定位精度。此外,将本文算法应用于单基站定位以及区域人口密度显示等场景,均获得了合理的实验结果,这说明该算法具备一定的普适性。后期将对终端路径预测算法进行研究,进一步提高算法的定位性能。

## 参考文献

- [1] ZHU J, QI Z W. Mobile Location Algorithm Based on Signal Attenuation and Outliers Detection[J]. Computer Engineering, 2010, 36(3): 280-282. (in Chinese)  
朱江, 戚正伟. 基于信号衰减和孤立点检测的移动定位算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(3): 280-282.
- [2] ZHOU J, CHU M K, NG K Y. Providing Location Services within a Radio Cellular Network Using Ellipse Propagation Model[C]// International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2005. Taiwan: IEEE Computer Press, 2005: 559-564.
- [3] LIU B C, LIN K H. Distance Difference Error Correction by Least Square for Stationary Signal-Strength-Difference-Based Hyperbolic Location in Cellular Communications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(1): 227-238.
- [4] KAI C, PISSINOU N, MAKKI K. Cellular network location estimation via RSS-based data clean enhanced scheme[C]// 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2011. Kerkyra: IEEE Computer Press, 2011: 924-930.
- [5] KAEMARUNGI K, KRISHNAMURTHY P. Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting[C]// Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2004. Hong Kong: IEEE Computer Press, 2004: 1012-1022.
- [6] PAHLAVAN K, KRISHNAMURTHY P. Principles of wireless networks; A unified approach[M]. USA, NJ: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2001.
- [7] RAO P R, SICCARDO P L. Location determination using RF fingerprinting: U. S. Patent 6,269,246[P]. 2001-7-31.
- [8] LIU X D, HE W, TIAN Z S. The Improvement of RSS-based Location Fingerprint Technology for Cellular Networks[C]// International Conference on Computer Science & Service System (CSSS), 2012. Nanjing: IEEE Computer Press, 2012: 1267-1270.
- [9] ZHAO Q, DENG P. Improved Fingerprint Location Methods for Cellular Networks[C]// the 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2012. Shanghai: IEEE Computer Press, 2012: 1-4.
- [10] JI Z Y, PI Y M, SHU J B. Application and research of mobile location technology based on signal strength in cellular network [J]. GNSS World of China, 2005, 30(4): 18-22. (in Chinese)  
计征宇, 皮亦鸣, 舒金表. 蜂窝网移动定位场强法的研究与应用 [J]. 全球定位系统, 2005, 30(4): 18-22.
- [11] HASSAN R, AMIN F M. Comparative study on radio wave propagation models for 4G network[C]// the 15th International Conference on Advanced Communication Technology (IC-ACT), 2013. PyeongChang: IEEE Computer Press, 2013: 480-483.
- [12] ZANG C A, MA Y Y, BAI F G, et al. Implement of Weighted Centroid Localization Algorithm Based on RSSI[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2009, 40(2): 146-147. (in Chinese)  
张婵爱, 马艳艳, 白凤娥, 等. 基于 RSSI 的加权质心定位算法的实现[J]. 太原理工大学学报, 2009, 40(2): 146-147.
- [13] NG K Y, ZHOU J, CHU M K, et al. A Train-Once Approach for Location Estimation Using the Directional Propagation Model [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2242-2256.
- [14] CHEN H G, LI L H, XU H P. Study of Simulated Annealing Position-Algorithm[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(9): 1240-1243. (in Chinese)  
陈华根, 李丽华, 许惠平. 模拟退火定位算法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(9): 1240-1243.
- [15] GAO D Z. Geodetic coordinate system and projective coordinate system[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 33(1): 51-55. (in Chinese)  
高德章. 大地坐标系与投影坐标系[J]. 物探化探计算技术, 2011, 33(1): 51-55.
- [16] ZHANG F H, WU J Z, SHENG Q, et al. A Weighted Iterative Centroid Localisation Algorithm for Cellular Base Station[J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(7): 1-3. (in Chinese)  
张飞虎, 吴尽昭, 沈强, 等. 一种蜂窝基站的迭代加权质心定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(7): 1-3.
- [17] LIU X. TOA/TDOA of Non-direct Wave Localization Algorithm Research [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2007. (in Chinese)  
刘霞. TOA/TDOA 非直达波定位算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.

(上接第 244 页)

- [4] SAURÍ R, PUSTEJOVSKY J. FactBank; a corpus annotated with event factuality[J]. Language Resources & Evaluation, 2009, 43(3): 227-268.
- [5] DIAB M T, LEVIN L, MITAMURA T, et al. Committed belief annotation and tagging[C]// Proceedings of the Third Linguistic Annotation Workshop (LAW). 2009: 68-73.
- [6] PRABHAKARAN V, RAMBOW O, DIAB M. Automatic committed belief tagging[C]// International Conference on Computational Linguistics. 2010: 1014-1022.
- [7] VELLDAL E, READ J. Factuality detection on the cheap; inferring factuality for increased precision in detecting negated events [C]// Proceedings of the Workshop on Extra-Propositional Aspects of Meaning in Computational Linguistics. 2012: 28-36.
- [8] QIAN Z, LI P F, ZHU Q M. A Two-Step Approach for Event Factuality Identification[C]// The 19th International Conference on Asian Language Processing. 2015: 10-16.
- [9] KILICOGLU H, ROSEMBLAT G, CAIRELLI M J, et al. A Compositional Interpretation of Biomedical Event Factuality[J]. ExProM 2015, 2015, 22(3): 16-26.
- [10] GLAVAŠ G, ŠNAJDER J, BAŠIĆ B D. Are You for Real? Learning Event Factuality in Croatian Texts[C]// Information Society 2012-Conference on Data Mining and Data Warehouses. 2012: 18-22.
- [11] LEE K, ARTZI Y, CHOI Y, et al. Event Detection and Factuality Assessment with Non-Expert Supervision[J]. Computer Science & Engineering, 2015, 12(2): 18-24.