

DOI: 10.3969/j.issn.1671-0673. 2026. 02. 013

基于方向约束和双扇形圆环相交的 Soul 用户定位

刘瑞婷, 时文旗

(信息工程大学, 河南 郑州 450001)

摘要: 现有社交平台定位方法多依赖距离映射, 需大量查询以识别关键阈值。然而, 随着平台强化位置混淆, 基于距离的方法难以刻画其扰动规律, 精度显著下降。为此, 提出一种基于方向约束与双观测点扇形圆环相交的 Soul 用户定位方法。通过设计一种全向多距虚拟探针部署策略, 依据平台距离显示粒度, 自适应设置多级径向采样半径, 高效获取无冗余的映射数据; 在此基础上, 将方位角纳入位置建模, 构建距离与方位角的位置带宽模型, 并基于两个不同观测点分别生成对应的扇形圆环区域; 最终, 以二者几何交集的质心作为目标用户的最终定位结果。在 Soul 平台上的实验表明, 该方法的最小、平均和最大定位误差分别为 9.01、29.87 和 57.66 m, 相较现有 3 种典型方法, 该方法的上述 3 项误差最大降幅分别可达 71.78%、57.12% 和 43.16%。

关键词: 基于位置的社交平台; 用户定位; 位置映射模型; 方位角

中图分类号: TP393.09

文献标识码: A

文章编号: 1671-0673(2026)02-0223-08

A Soul User Geolocation Method Based on Direction Constraint and Double Fan-Shaped Ring Intersection

LIU Ruiting, SHI Wenqi

(Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Current localization methods on social platforms predominantly rely on distance mapping, which necessitates extensive queries to identify critical thresholds. However, as platforms continually strengthen their location obfuscation mechanisms, distance-based approaches struggle to accurately characterize the perturbation patterns, resulting in a significant drop in localization accuracy. A Soul user geolocation method based on direction constraint and double fan-shaped ring intersection is proposed. First, an omni-directional and multi-range virtual probe deployment strategy is designed, which adaptively sets multi-level radial sampling radii according to the display granularity of platform distance, thereby efficiently acquiring non-redundant mapping data. On this basis, the azimuth is incorporated into location modeling to construct a location bandwidth model considering both distance and azimuth. Fan-shaped annular regions are generated from two distinct observation points, and the geometric centroid of their intersection is used as the final user location estimate. Experiments on Soul show the minimum, average and maximum localization errors of 9.01, 29.87 and 57.66 m, respectively. Compared with 3 typical methods, the maximum reductions of the 3 aforementioned errors using the proposed method can reach 71.78%, 57.12% and 43.16%, respectively.

Key words: location-based social platform; user geolocation; location mapping model; azimuth

收稿日期: 2026-01-05; 修回日期: 2026-03-17

作者简介: 刘瑞婷(1982—), 女, 副教授, 硕士, 主要研究方向为网络空间安全。E-mail: ruitingliu@126.com

基于位置的社交服务(Location-Based Social Services, LBSD)在显著提升用户社交体验的同时,也带来了潜在的安全风险^[1]。近年来,Facebook、Twitter、微信、Soul等主流社交平台广泛集成“附近的人”“地理签到”等功能^[2],通过本地化社交吸引用户持续活跃,并产生海量位置数据^[3-5]。其中,Soul是近年来广受欢迎的交友类社交网络平台,截至2025年8月,其累计注册用户数约3.89亿。该平台提供的LBSD服务“奇遇铃”在提高社交体验的同时,也被恶意用户用于交友诈骗等违法活动。因此,研究Soul平台的用户定位技术,对于执法机构在非协作条件下精准识别恶意用户^[6-7]、保护普通用户隐私^[8-9]、推动平台优化隐私保护机制^[10-11]等方面具有重要的现实意义。

为平衡用户体验与隐私保护,LBSD服务通常向用户展示经混淆处理的相对距离,该值与真实距离存在显著偏差^[12],如图1所示。例如,同一探针观测到两名用户的显示距离均为550 m,其真实距离却分别为420 m和910 m。

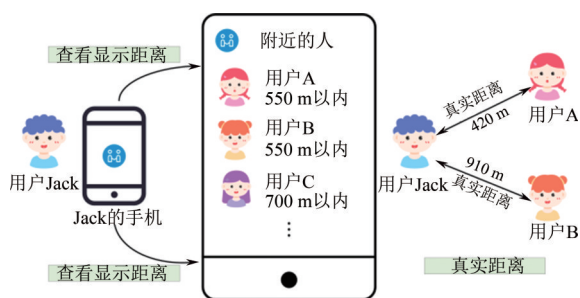


图1 报告距离和真实距离之间的差异

现有LBSD用户定位方法普遍基于一个核心假设:显示距离与真实距离之间存在稳定且各向同性的映射关系^[13-18]。在此框架下,文献[17]采用3边测量模型,通过在3个不同位置部署探针,利用距离圆环的交集估计目标区域,实现对微信用户的定位;文献[18]引入二分搜索策略,对最小显示距离所对应的空间进行迭代划分以提升定位精度;文献[19]假设“附近的人”列表中用户的排序与真实距离正相关,并基于排序失序特征设计定位方法,有效削弱距离混淆的影响;文献[20]在二维数论定位方法基础上引入启发式测量,以应对显示距离中的随机化扰动;文献[21]采用加权最小二乘法,融合各探针处目标用户的最近与最远距离约束,联合估计其位置;文献[22]通过挖掘显示距离的跃变规律,显著降低了探探平台的用户定位误差。

然而,随着隐私机制升级,LBSD服务正逐步引

入多维混合策略。以Soul平台“奇遇铃”功能为例,其不仅返回混淆后的显示距离,还披露用户方位角信息。实验表明,该显示距离的生成同时依赖真实距离与方位角。这一特性打破了传统方法的各向同性假设,使得仅基于距离映射的模型难以准确刻画观测机制,导致定位性能显著下降。

针对上述问题,本文提出一种基于方位约束和双观测点扇形圆环相交的Soul用户定位方法。该方法从方位角与距离两个维度出发,设计全方向多半径数据采样策略,根据平台所显示位置的粒度动态调整径向采样半径,并借助位置虚拟技术在预设位置部署探针,构建一个全自动化的数据采集框架;在此基础上,利用采集到的位置映射数据,分别在距离和方位角维度上推导出位置带宽;进而基于两个不同地理位置的探针观测结果,生成对应的扇形圆环区域,并将二者交集区域的几何质心作为目标用户位置的推断。

本文主要工作如下:

1)提出一种全向多距的数据自动采集框架。该框架在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 全向范围内以固定角度间隔生成探测位置路径。在每条路径上,根据社交平台的距离显示粒度,设置多个采样半径,形成多层次探针的布设方案。通过自动化工具驱动移动设备在虚拟位置间变换,模拟真实用户的位置行为,从而高效、系统地采集大量位置映射数据,为深入分析社交平台的位置混淆策略提供数据基础。

2)提出一种基于方位约束和双观测点扇形圆环相交的Soul用户定位方法。该方法利用采集的位置映射数据构建位置带宽模型。将探针依次部署于两个不同地理位置,分别以各位置为原点,结合对应的方位角带宽与距离带宽生成两个扇形观测区域,并以二者交集的质心作为最终定位结果。实验表明,该方法的平均定位误差为29.87 m,显著优于现有典型定位方法。

1 符号定义与问题描述

本文使用的相关符号如表1所示。

表1 符号说明

符号	说明
P, A	探针用户, 锚点用户
(R_{lon}, R_{lat})	经纬度地理坐标
$d, \hat{d}$	用户间真实距离, 平台显示距离
$\theta, \hat{\theta}$	用户间真实方位角, 平台显示方位角
$\mathcal{R}$	位置映射数据集

探针用户:真实地理位置已知的社交平台用户,通过在不同地理位置登录平台并主动记录其返回的显示位置,用于构建显示位置与真实位置之间的映射对,记为 P ,以下简称探针。

锚点用户:锚点是真实地理位置已知且固定的用户,作为数据采集等过程的基准参照点,记为 A ,简称为锚点。

局部极坐标系:以锚点 A 为极点,正北方向为极轴,方位角沿顺时针方向度量。

真实位置:探针 P 在该局部极坐标系中的位置可表示为极坐标 (d, θ) ,其中 d 为 P 到锚点 A 的真实欧氏距离, θ 为其真实方位角。

显示位置:社交平台返回的显示位置在同一局部极坐标系下映射为 $(\hat{d}, \hat{\theta})$,其中 $\hat{d}$ 为平台报告的混淆后的相对距离, $\hat{\theta}$ 为对应的显示方位角。

本文要解决的问题可描述为:设计一种融合距离与方位角的探针布设策略,实现自动化、高效率地采集空间覆盖充分且冗余度低的位置映射数

据 $\{(d, \theta) \rightarrow (\hat{d}, \hat{\theta})\}$,并基于平台返回的显示位置 $(\hat{d}, \hat{\theta})$ 构建定位算法,以准确反推目标用户的真实地理位置。

2 本文方法

针对传统仅依赖距离信息的用户定位方法难以准确刻画并利用Soul平台的位置映射机理,导致定位精度低的问题,本文提出一种基于方向感知的两步交叉定位方法。

该方法以锚点为中心建立局部极坐标系,在全向范围内遍历方位角,并结合多级径向距离生成采样点。通过虚拟定位技术将探针依次部署至对应地理坐标,同步采集平台返回的显示距离与方位角,构建真实位置与显示位置之间的带宽映射模型。基于两次探针观测所得的扇形约束区域,取其交集的质心作为最终定位结果。本文方法的整体框架如图2所示。

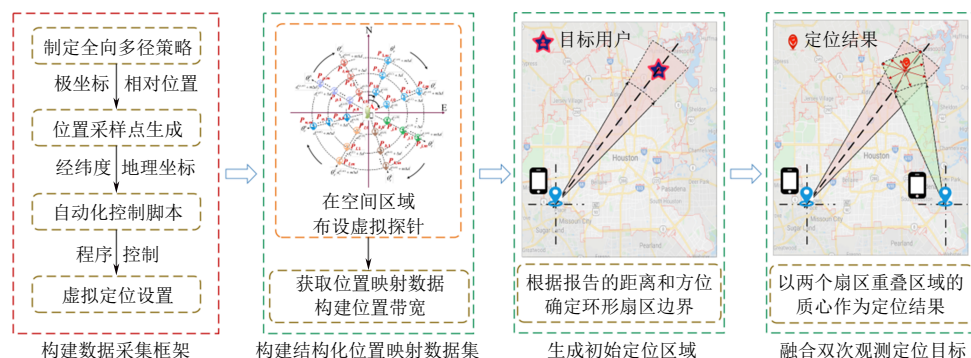


图2 方法的整体框架

本文方法的主要步骤如下。

步骤1:构建自动化数据采集框架。设计并实现一个端到端的自动化采集系统,由脚本驱动完整的位置探测流程。系统依据预设的虚拟位置变换策略,自动完成虚拟位置设置与位置数据收集。

步骤2:构建结构化位置映射数据集。依据全向多距策略布设探针,由锚点自动调用Soul平台接口,记录探针的真实地理位置与其对应的平台显示位置,形成真实—显示位置的结构化映射数据对。

步骤3:生成初始定位区域。以探针初始位置为原点,根据平台返回的显示角度,向两侧各扩展一定张角形成方向扇区,并结合该位置对应的真实距离带宽,构建第1个扇形圆环区域。

步骤4:融合双次观测实现目标定位。将探针移至新位置,重复步骤3,生成第2个扇形圆环区域。取两个扇形圆环区域的交集作为用户位置约

束范围,并以其几何质心作为最终地理定位结果。

2.1 构建数据采集框架

为构建准确的位置映射模型,需采集大量真实场景下的位置数据^[12]。然而,基于物理移动设备的实地采集效率低,且易受定位误差影响^[23],本文采用程序驱动的虚拟定位方法。在设备物理位置不变的前提下,动态将其虚拟位置设为目标地理坐标,使社交平台无感知地将其识别为位于该处的用户。该方法无需人工干预,可精确、高效地模拟任意地理位置的用户行为,支撑大规模探针部署。测试框架原理如图3所示。

图3中系统将探针的虚拟位置依次设为预设采样点,同步记录其真实坐标及锚点账户获取的显示距离和方位角。实验表明,微信、Soul、Telegram等主流社交平台均可正确接收虚拟位置并返回相应相对位置信息。

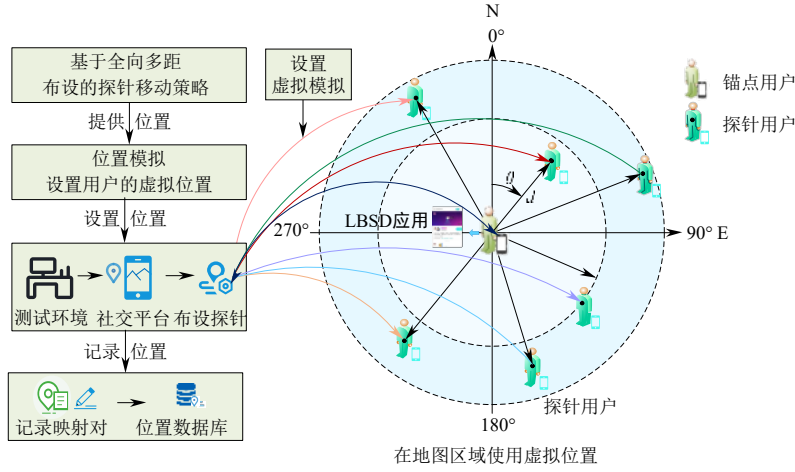


图3 测试框架示意

2.2 构建结构化位置映射数据集

1) 全向多距探针采样。为全面揭示平台位置混淆规律,突破传统单一距离采样的局限,本文设计一种融合距离与方位角的全向多距探针布设策略,如图4所示。

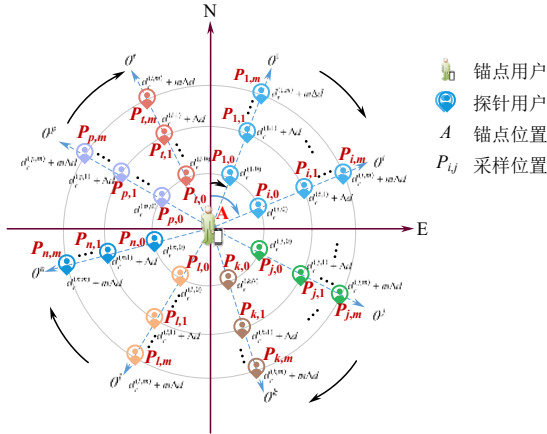


图4 探针位置变换策略示意

如图所示,以锚点 $A = (R_{\text{lon}}^A, R_{\text{lat}}^A)$ 为极点、正北方向为极轴,构建局部极坐标系。位置数据的采样规则如下:

方位角 $\theta_i = i$, 其中 $i = 0, 1, 2, \dots, 359$, 单位为 $(^\circ)$, 步长为 1° 。

在每个方向 $\theta_i = i$ 上,极径从初始距离 d_0 开始,以固定步长 Δd 递增,第 j 个采样点的距离记为

$$d^{(i,j)} = d_0 + j \cdot \Delta d, j \in \mathbb{N}_0 \quad (1)$$

对应探针位置在极坐标下表示为

$$P_{i,j} = (d^{(i,j)}, \theta_i) \quad (2)$$

使用虚拟定位技术,需为探针设置经纬度坐标。为此,将极坐标表示的探针位置转换为地理坐标:以锚点 A 为起点,沿方向角 θ_i 移动距离 $d^{(i,j)}$,利用球面三角公式^[24]计算对应的经纬度坐标 $P =$

$(R_{\text{lon}}^P, R_{\text{lat}}^P)$ 。随后,锚点账号从社交平台获取返回的显示距离 $\hat{d}^{(i,j)}$ 和方位角 $\hat{\theta}^{(i,j)}$ 。构建位置映射集合:

$$\mathcal{R} = \{(d^{(i,j)}, \theta_i), (\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})\} \quad (3)$$

式中: $i = 0, 1, \dots, 359; j \in 1, 2, \dots$ 。集合 $\mathcal{R}$ 完整刻画了社交平台真实与显示相对位置间的混淆机制。

由于Soul的LBSD服务会根据用户真实距离动态切换显示单位(距离增大时由“米(m)”切换为“千米(km)”,减小时则反向切换),本文设计了一种自适应步长策略:首先以粗粒度步长(如10 m)沿目标方向扫描;一旦检测到显示单位首次切换(如由“m”变为“km”),立即回退至上一采样点(如20 m处),并改为精细步长(如1 m)进行局部高密度扫描,以精准捕获单位切换的临界区域。为提升数据可靠性,每个采样点独立重复探测10次。

2) 构建位置带宽。本文提出“位置带宽”概念:给定显示位置 $(\hat{d}, \hat{\theta})$, 其位置带宽指所有可能生成该显示结果的真实相对位置 (d, θ) 的取值范围,包括距离带宽和角度带宽。首先建立位置映射:

距离映射方面,对任一显示位置 $(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})$, 提取对应距离集合为

$$\mathcal{M}_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) = \{d^{(i,j)} | \exists \theta^{(i,j)}, ((d^{(i,j)}, \theta^{(i,j)}), (\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})) \in \mathcal{R}\} \quad (4)$$

角度映射方面,对应的真实方位角集合为

$$\mathcal{M}_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) = \{\theta^{(i,j)} | \exists d^{(i,j)}, ((d^{(i,j)}, \theta^{(i,j)}), (\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})) \in \mathcal{R}\} \quad (5)$$

在此基础上,将距离带宽 B_d 与角度带宽 B_θ 定义为上述集合值域的闭区间:

$$\begin{cases} B_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) = [\min \mathcal{M}_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}), \\ \max \mathcal{M}_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})]; \\ B_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) = [\min \mathcal{M}_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}), \\ \max \mathcal{M}_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)})]. \end{cases} \quad (6)$$

相应地,位置带宽可量化表征平台的混淆程度:

$$\begin{cases} \Delta K = \left| \max \mathcal{M}_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) - \min \mathcal{M}_d(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) \right|; \\ \Delta \theta = \left| \max \mathcal{M}_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) - \max \mathcal{M}_\theta(\hat{d}^{(i,j)}, \hat{\theta}^{(i,j)}) \right|. \end{cases} \quad (7)$$

该模型表明:任一显示位置 $(\hat{d}, \hat{\theta})$ 并非唯一对应某一真实位置,而是映射至一个极坐标区域(即位置带宽),利用该带宽有效约束目标空间,服务后续定位。

2.3 生成初始定位区域

定位过程从探针的初始位置 P_1 开始。Soul平台返回目标用户的显示距离 $\hat{d}$ 和显示方位角为 $\hat{\theta}$ (以正北为基准,顺时针为正)。实验表明,Soul平台的距离变化规律与现有研究对其他平台的规律类似,其显示距离与真实距离的变化趋势高度一致^[25]。当真实距离 $d < 100$ m时,平台对位置的混淆程度高,映射关系缺乏规律;随着真实距离 d 的增大,当其对应的显示距离单位为km时,显示方位角 $\hat{\theta} \approx \theta$,且距离带宽约为100 m。

由此,为确保观测可靠性,若显示距离 $\hat{d} < 2.0$ km,探针沿着背离目标的方向移动($\Delta_1 = 2.0 - \hat{d}$) km至 P'_1 ,使得目标显示距离 $\hat{d} \geq 2.0$ km。背离目标的方向具体为:设目标显示距离是 $\hat{\theta}$,若 $\hat{\theta} \in [0^\circ, 180^\circ)$,则令探针朝其 $(\hat{\theta} + 180^\circ)$ 方向移动;若 $\hat{\theta} \in [180^\circ, 360^\circ)$,则探针朝其 $(\hat{\theta} - 180^\circ)$ 方向移动。

设平台方位误差不得超过 $\pm\alpha$,并将方向不确定性建模为以显示方位角 $\hat{\theta}$ 为中心、总张角为 2α 的扇形区域。由此,目标用户可能位于以下极坐标定义的扇形圆环内:

$$\mathcal{A}_1 = \{(d, \theta) | d \in B_d(\hat{d}, \hat{\theta}), \theta \in [\hat{\theta} - \alpha, \hat{\theta} + \alpha]\} \quad (8)$$

为简化计算,本文将局部地理区域近似为二维欧氏平面(单位为m),并将上述扇形圆环转换至笛卡尔坐标系,以探针 P_1 为原点构建初始定位区域 $\Omega_1 = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 | (d, \theta) \in \mathcal{A}_1\}$ 。在真实距离 $d > 100$ m范围内,平台显示的方位角 $\hat{\theta} \approx \theta$,具有较稳定的规律性;而 $d \leq 100$ m区域仅占整体定位空间的一小部分,且其方位角映射规律不明显。另外,在后续步骤中,系统若定位失败,会触发探针位置的随机微调以应对平台可能引入的随机混淆,根据实验经验,将方位角误差 α 设定为 3° 。

2.4 融合双次观测定位目标

为提升定位精度,探针从位置 P'_1 出发,沿地理坐标系中的东西方向(即保持纬度不变,仅调整经度)移动固定距离500 m,到达新观测点 P_2 。

在 P_2 处重复2.3节的流程,生成第2扇形圆环

区域 Ω_2 ,并计算与第1扇形圆环区域 Ω_1 的交集区域 $\Omega_{\text{int}} = \Omega_1 \cap \Omega_2$ 。

若 $\Omega_{\text{int}} \neq \emptyset$,则其几何质心作为目标最终定位结果;若 $\Omega_{\text{int}} = \emptyset$,表明当前观测存在较大偏差或平台扰动过强,此时将探针从当前位置 P_2 沿随机方向移动 k m(其中 $100 < k < 1\,000$),重新观测,直至获得非空交集。

3 实验与分析

为验证所提方法的有效性,在社交平台Soul上开展真实环境下的用户定位实验,并与3种现有方法进行对比。实验包括两部分:1)所提位置映射模型的有效性验证;2)所提定位方法的性能验证。

3.1 实验设置

进行了为期12个月的实验,实验设置细节如表2所示。

表2 实验设置细节

符号	说明
自动化工具	Appium(v1.22.3)
模拟位置工具	FakeGPS(v2.1.2)
使用的手机品牌与数量	华为, 13; 小米, 13; 红米, 12; OPPO, 12
Soul的版本	3.64.0
实验城市	郑州、北京
距离步长	10 m、1 m
角度步长	1°
测试位置映射对	18 072 510
测试时间	2024-05-01—2025-04-30

实验中,所有设备的物理位置均位于郑州,虚拟位置通过FakeGPS软件设置,并利用Appium实现自动化脚本控制,完成数据采集与定位操作。针对Soul平台LBSD服务中距离显示在“m”与“km”之间切换的特性,本文在各方位角上以10 m为初始步长进行径向探测。当检测到显示距离的单位发生跃变时,系统自动在跃变点前20 m范围内启动精细扫描,动态切换至1 m步长,直至精确捕获粒度切换边界。

本文采用定位误差与查询次数两个常用指标分别评估定位方法的精度与效率^[20-21]。其中,定位误差为定位结果与目标用户真实位置之间的欧氏距离(单位为m),误差越小,定位越精确;查询次数为在成功定位过程中,探针向LBSD服务请求其与目标用户之间显示距离的总次数。

3.2 位置带宽识别

在2.2节所述的探针移动测量过程中,共采集

到 18 072 510 条 Soul 平台的位置映射数据对。基于位置带宽计算方法,可推导出各显示位置对应的距离带宽。大规模数据分析表明:当显示距离以 km 为单位时,显示方位角 $\hat{\theta}$ 与真实方位角 θ 基本一致,即 $\theta \approx \hat{\theta}$,但显示距离与真实距离的映射关系仍随真实方位角变化。

表 3 展示了在显示方位角分别为 150° 和 330° 、显示距离位于 1.0~2.0 km 内所对应的实际距离带宽。

表 3 位置带宽

显示 距离/km	最小真实距离/m		最大真实距离/m		距离带宽/m	
	150°	330°	150°	330°	150°	330°
1.0	1 040	960	1 090	1 010	59	59
1.1	1 100	1 020	1 180	1 100	89	89
1.2	1 190	1 110	1 270	1 190	89	89
1.3	1 280	1 200	1 360	1 280	89	89
1.4	1 370	1 290	1 450	1 370	89	89
1.5	1 460	1 380	1 540	1 460	89	89
1.6	1 550	1 470	1 630	1 550	89	89
1.7	1 640	1 560	1 720	1 640	89	89
1.8	1 730	1 650	1 810	1 730	89	89
1.9	1 820	1 740	1 900	1 820	89	89

实验主要是以 10 m 为步长进行采样,观测到,当真实方位角为 150° 、真实距离为 1 090 m 时,平台返回的显示距离为 1.0 km,而当真实距离增至 1 100 m 时,显示距离跃升至 1.1 km。考虑到社交平台距离显示通常具有阶梯特性^[25],且未在 1 091~1 099 m 区间进行细粒度采样,本文将 $\theta = 150^\circ$ 时,显示距离 1.0 km 对应的真实距离范围保守界定为 [1 040, 1 099] m,对应带宽为 59 m。其余显示距离区间的带宽均依此方法确定。

3.3 位置映射模型有效性验证

为验证本文方法提出的位置映射模型能否准确地刻画 Soul 平台的位置混淆机制,对比了以下两种方法:

1) 采用本文完整位置映射模型的方法(记为“方法名_OMD”),该方法同时利用显示距离与显示方位角信息。

2) 仅依赖显示距离的传统定位方法,这些方法以其原始名称表示。

由于本文定位方法需同时利用距离与方位角信息,无法在仅含距离信息的传统模型上运行。为公平评估所提位置映射模型的有效性,选用 3 种现有典型仅依赖距离的方法 SPBG^[18]、WLSG^[21]和

TRDT^[22]进行实验对比。

表 4 展示了 3 种现有典型方法在本文位置映射模型与传统仅基于距离带宽模型下的最小、平均及最大定位误差。结果表明,采用本文模型能够显著提升各方法的定位精度。SPBG_OMD^[18]、WLSG_OMD^[21]和 TRDT_OMD^[22]的最小误差分别为 31.93、9.31 及 10.22 m,平均误差分别为 69.66、32.9 及 39.93 m,最大误差分别为 101.45、63.41 和 75.53 m。相较于传统距离模型,最小、平均及最大定位误差降幅分别达到 9.16%~58.68%, 24.26%~29.00% 和 27.10%~42.80%,充分说明所提模型能够准确刻画 Soul 平台的位置混淆机制。

表 4 定位误差结果对比

单位:m

定位方法	最小误差	平均误差	最大误差
SPBG ^[18]	35.21	98.11	177.35
SPBG_OMD ^[18]	31.93	69.66	101.45
WLSG ^[21]	22.53	45.28	101.27
WLSG_OMD ^[21]	9.31	32.90	63.41
TRDT ^[22]	11.25	52.72	103.60
TRDT_OMD ^[22]	10.22	39.93	75.53

3.4 用户定位结果对比

本节将在基于融合距离与方位角的位置映射模型上对比本文定位方法与现有 3 种典型方法在 Soul 平台上的定位性能。

1) 定位精度对比

在定位实验中,随机设置目标的初始位置,分别计算各个方法的定位误差,实验结果具体如表 5 所示。

表 5 各方法定位误差对比

定位方法	最小误差/m	平均误差/m	最大误差/m
SPBG_OMD ^[18]	31.93	69.66	101.45
WLSG_OMD ^[21]	9.31	32.90	63.41
TRDT_OMD ^[22]	10.22	39.93	73.53
本文方法	9.01	29.87	57.66

由表 5 分析可得,本文方法的定位精度均优于现有的 3 种对比方法。本文方法的最小误差是 9.01 m,比 SPBG_OMD、WLSG_OMD 和 TRDT_OMD 这 3 种对比方法分别降低了约 71.78%, 3.22% 及 11.84%。本文方法的平均误差是 29.87 m,比 3 种对比方法分别降低了约 57.12%, 9.21% 及 25.19%。本文方法的最大误差是 57.66 m,对比比方法分别降低了约 43.16%, 9.07% 及 21.58%。

本文方法定位性能优于现有方法,主要原因

在于所构建的位置映射模型融合了方位角信息,从而更加准确地刻画并有效利用Soul平台的位置混淆机制。而现有的3种典型方法仅基于距离进行定位,未能利用角度信息,定位精度因而受限。

2) 定位效率对比

定位效率是评估定位性能的另一重要方面。为达到目标定位精度,现有方法通常需要多次查询社交平台以获取显示距离信息。表6展示了各方法在定位过程中的平均查询次数情况。

表6 平均查询次数

方法	平均查询次数
SPBG_OMD ^[18]	39.12
WLSG_OMD ^[21]	19.11
TRDT_OMD ^[22]	21.05
本文方法	7.39

由表6可知,本文方法在效率方面表现更优,平均查询次数仅为7.39次,显著低于3种对比方法查询次数,分别降低约81.11%、61.33%和64.89%。

本文定位方法定位效率高的原因在于:引入方位角信息后,每个显示距离所对应的真实距离带宽被有效收窄,定位过程因此更具方向性和精准性。这一优势在TRDT方法中尤为突出。由于TRDT通过探测显示距离的跃变点来确定目标位置,而跃变点的识别高度依赖于真实距离范围的精确估计,本文模型所提供的角度感知带宽大幅降低了搜索不确定性,从而显著减少了达到跃变点所需的查询次数。

4 结束语

本文针对现有社交平台用户定位方法普遍依赖距离信息,难以准确刻画Soul平台位置混淆机理,从而导致定位精度低的问题,提出一种方向感知的双扇形圆环交叉定位方法。该方法设计了一种全向多距虚拟探针部署策略,高效采集真实位置与显示位置之间的映射数据。基于所获数据,系统分析显示距离与显示方位角各自对应的真实位置带宽。进而,以两个不同观测点为圆心,依据对应的带宽生成扇形环形区域,并将二者交集的几何质心作为最终定位结果。实验结果表明,与现有3种典型方法相比,所提方法显著提升了Soul平台用户定位精度与效率。然而,与现有方法类似,本文方法仍依赖平台主动返回的位置信息,无法对未显示位置的用户进行定位。未来工作将聚

焦于融合多源社交平台信息的用户定位机制,以进一步拓展定位系统的适用范围与鲁棒性。

参考文献:

- [1] XING L, LI B, LIU L L, et al. Trajectory privacy protection method based on sensitive semantic location replacement[J]. Computer Networks, 2024, 250: No.110562.
- [2] SHI Y Y, SHI W Q, LUO X Y, et al. Echoes of movement: a line user geolocation method based on probe position adaptive adjustment [C] //Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Piscataway, USA: IEEE, 2025:172-181.
- [3] HUANG M S, NARAYANAN R M. Trilateration-based localization algorithm using the lemoine point formulation [J]. IETE Journal of Research, 2014, 60(1):60-73.
- [4] LIU R T, LI R X, SHI W Q, et al. UeLP: accurate user linkage across social platforms against location errors [J]. The Computer Journal, 2025, 68(3):228-240.
- [5] SCHNITZLER T, KOHLS K, BITSIKAS E, et al. Hope of delivery: extracting user locations from mobile instant messengers [C] //Proceedings of the 2023 Network and Distributed System Security Symposium. San Diego, USA. Internet Society, 2023. DOI:10.14722/ndss.2023.23188.
- [6] VENÂNCIO O R, FERREIRA C H G, ALMEIDA J M, et al. Unraveling user coordination on telegram: a comprehensive analysis of political mobilization during the 2022 Brazilian presidential election [C] //Proceedings of the 18th International AAAI Conference on Web and Social Media. Washington, USA: AAAI Press, 2024, 18:1545-1556.
- [7] LIN T L, CHANG H Y, LI S L. A location privacy attack based on the location sharing mechanism with erroneous distance in geosocial networks[J]. Sensors, 2020, 20(3):No.918.
- [8] XUE M H, LIU Y, ROSS K W, et al. I know where you are: thwarting privacy protection in location-based social discovery services [C] //Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Piscataway, USA: IEEE, 2015:179-184.
- [9] GUO J D, XU R, SHI W Q, et al. Instant messaging user geolocating method based on multisource information association [J]. International Journal of Sensor Networks, 2021, 35(2):99-110.
- [10] SHI Y Y, LUO X Y, SHI W Q. From crowds to coordinates: a user density-distance dynamic transformation method for Telegram users geolocalization [J]. Computer Networks, 2025, 266:No.111316.
- [11] XU S, FU X M, CAO J X, et al. Survey on user location prediction based on geo-social networking data [J]. World Wide Web, 2020, 23(3):1621-1664.

- [12] HOANG N P, ASANO Y, YOSHIKAWA M. Your neighbors are my spies: location and other privacy concerns in dating apps [C]//Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway, USA: IEEE, 2016:715-721.
- [13] WANG H D, LI Y, CHEN Y, et al. Co-location social networks: linking the physical world and cyberspace[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2019, 18(5): 1028-1041.
- [14] SETA G D. Sociality, circulation, transaction: WeChat's infrastructural affordances [J]. *Verge: Studies in Global Asias*, 2020, 6(2): 65-82.
- [15] 时文旗. LBSD 类社交平台用户定位技术研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2022: 4-15.
- [16] MORIYA K, FUJIMOTO M, ARAKAWA Y, et al. Effective trilateration-based indoor localization method utilizing active control of lighting devices [J]. *Sensors and Materials*, 2020, 32(2): No.625.
- [17] DING Y, PEDDINTI S T, ROSS K W. Stalking Beijing from Timbuktu: a generic measurement approach for exploiting location-based social discovery [C]//Proceedings of the 4th ACM Workshop on Security and Privacy in Smartphones & Mobile Devices. New York, USA: ACM, 2014: 75-80.
- [18] LI M Y, ZHU H J, GAO Z Y, et al. All your location are belong to us: breaking mobile social networks for automated user location tracking [C]//Proceedings of the 15th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York, USA: ACM, 2014: 43-52.
- [19] SHI W Q, LUO X Y, GUO J D, et al. Where are WeChat users: a geolocation method based on user missequence state analysis [J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2021, 8(2): 319-331.
- [20] PENG J W, MENG Y, XUE M H, et al. Attacks and defenses in location-based social networks: a heuristic number theory approach [C]//Proceedings of the 2015 International Symposium on Security and Privacy in Social Networks and Big Data. Piscataway, USA: IEEE, 2015: 64-71.
- [21] 时文旗, 罗向阳, 郭家山. 基于加权最小二乘的社交网络用户定位方法[J]. *网络与信息安全学报*, 2022, 8(3): 41-52.
- [22] 郭家山, 杜少勇, 时文旗, 等. 基于距离跃变的“探探”恶意用户定位方法[J]. *信息安全学报*, 2024, 9(6): 129-139.
- [23] CHENG H N, MAO S L, XUE M H, et al. On the impact of location errors on localization attacks in location-based social network services [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication and Storage. Cham, Switzerland: Springer, 2016: 343-357.
- [24] KARNEY C F F. Algorithms for geodesics [J]. *Journal of Geodesy*, 2013, 87(1): 43-55.
- [25] SHI W Q, LUO X Y, ZHAO F, et al. Geolocating a WeChat user based on the relation between reported and actual distance [J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2018, 14(4): No.84182167.

(编辑: 邵 华)

(上接第 222 页)

- curity through a machine learning approach to mitigate man-in-the-middle attacks [C]// Proceedings of the 2024 IEEE International Conference for Convergence in Technology. Piscataway, USA: IEEE, 2024: 1-6.
- [11] HWANG R H, PENG M C, NGUYEN V L, et al. An LSTM-based deep learning approach for classifying malicious traffic at the packet level [J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(16): No.3414.
- [12] MANHAS S, TATERH S, SINGH D. Deep Q learning-based mitigation of man in the middle attack over secure sockets layer websites [J]. *Modern Physics Letters B*, 2020, 34(32): No.2050366.
- [13] 郭晓军, 梁添鑫, 靳玮琨, 等. 基于混合双向 LSTM 的中间人攻击检测方法[J]. *计算机工程与设计*, 2024, 45(12): 3560-3567.
- [14] 姜博, 林伟. 基于时间特征的 HTTPS 中间人攻击检测方法[J]. *信息工程大学学报*, 2024, 25(2): 189-195.
- [15] BERGSMAN F, DOWLING B, KOHLAR F, et al. Multi-ciphersuite security of the secure shell (SSH) protocol [C]// Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. New York, USA: ACM, 2014: 369-381.
- [16] LIU K. SSH-MITM-Datasets [EB/OL]. (2025-12-15) [2025-12-15]. <https://github.com/Tietieelf-eng/SSH-MITM-Datasets/tree/main>.
- [17] LIU C, HE L T, XIONG G, et al. FS-net: a flow sequence network for encrypted traffic classification [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications. Piscataway, USA: IEEE, 2019: 1171-1179.
- [18] LOTFOLLAHI M, JAFARI SLAVOSHANI M, SHIRALI HOSSEIN ZADE R, et al. Deep packet: a novel approach for encrypted traffic classification using deep learning [J]. *Soft Computing*, 2020, 24(3): 1999-2012.
- [19] LIN K D, XU X L, GAO H H. TSCRnn: a novel classification scheme of encrypted traffic based on flow spatiotemporal features for efficient management of IIoT [J]. *Computer Networks*, 2021, 190: No.107974.

(编辑: 邵 华)