

蜂窝网无线定位技术研究及实践

Research and Practice of Wireless Location Technology in Cellular Network

徐亚楠,蔡超,杨立辉,冯瑜瑶(中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Xu Ya'nan, Cai Chao, Yang Lihui, Feng Yuyao(China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

摘要:

首先分析了蜂窝网无线定位的多种定位方案及其可达的定位精度。其次,调研了定位能力的市场需求,并对 CELL_ID 定位、三角定位(TOA/TDOA)、蜂窝网指纹定位、multi-RTT 定位这 4 种典型的蜂窝网定位技术原理进行了深入探讨。同时,在某地进行了 4G 指纹定位落地测试,并分析了测试结果。最后,阐述了中国联通定位能力产品的产品架构,并探索定位能力的商品化进程。

关键词:

蜂窝网定位;技术原理;产品架构

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.10.007

文章编号:1007-3043(2021)10-0033-05

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

It firstly analyzes the positioning schemes and the positioning accuracy in cellular networks. Secondly, it investigates the market demand of positioning ability, and four typical cellular network location technologies including CELL_ID positioning technology, TOA / TDOA technology, cellular network fingerprint positioning technology and multi-RTT positioning technology are discussed. At the same time, 4G fingerprint positioning landing test are carried out in a certain place, and the test results are analyzed. Finally, the product architecture of positioning capability products of China Unicom is elaborated, and the commercialization process of positioning capability is explored.

Keywords:

Cellular network positioning; Technology principle; Product architecture

引用格式:徐亚楠,蔡超,杨立辉,等.蜂窝网无线定位技术研究及实践[J].邮电设计技术,2021(10):33-37.

0 引言

位置服务(LBS)是一种通过无线通信网络或其他定位系统获取终端位置信息,再结合地理信息系统为用户提供与位置相关的各类信息的服务。从第一代移动通信技术(1G)到第5代移动通信技术(5G),移动位置服务一直是蜂窝网络研究的重要课题,它利用现有蜂窝网络,通过对终端位置多种特征参数的分析处理,得到移动终端的位置信息,这方面有大量的研究。

以终端视角,定位分为“被动定位”和“主动定位”

2类,技术实现手段上也存在差异。当前,客户对运营商定位服务需求以“被动定位”为主。表1显示的是目前几类经典的定位方案及其可达到精度,其中包含基站定位、卫星定位和室内定位方案,与运营商关系最为密切的为基于基站通信的定位,其中包括 CELL_ID、ECID、OTDOA 和指纹定位等。

1 蜂窝网无线定位技术需求分析

蜂窝网无线定位技术是一种具有广阔市场前景的移动技术。早在上世纪90年代,美国联邦局就制定了E-911定位要求^[1],这项法令规定,各蜂窝网运营商在2001年前实现125 m定位精度,精度为67%。随着

收稿日期:2021-08-16

表1 定位方案及可达精度表

定位类别	定位技术	定位精度/m	主动/被动
基站定位	CELL_ID	300~2 000	被动
	ECID	150~1 000	被动
	OTDOA	50~200	被动
	指纹定位	30~100	被动
卫星定位	RTK	<0.1	主动
	A-GNSS	5~20	主动
局域网定位	蓝牙	<10	主动
	Wi-Fi	<10	主动
	UWB	<0.1	主动/被动

通信技术的发展,这种定位能力凭借覆盖范围广、精度高受到政府、公安、消防等部门的欢迎。

无线定位的应用非常广泛,在公共服务方面,根据服务对象的位置信息和终端上报的其他信息,可以对该位置地区内实施精准的应对策略(比如基站位置的重新规划),以提高服务质量;通过分析特定区域的人员位置信息,可以获得该区域的人流量情况,当出现严重拥堵或者火灾等极端灾害时,将区域的人流信息共享给相关单位,可以实现人员有效的疏导;精准施救,自然灾害事件发生时,尤其山区、丘陵地带,通过对特定受灾区域的人员定位,实施精准搜救。另外,对于报警、急救等事件,通过分析终端信息,准确定位,提高公安、急救工作效率。

在商业领域,无线被动定位作为移动产品的增值应用,也具有比较大的市场。澳大利亚 NRAM 紧急救援公司的数据显示,每 500 辆救援车每年呼叫量就在 280 万次。中国各类救援车数量保守估计 5 000 辆,按单次呼叫 0.45 元计算,紧急救援市场被动定位的市场容量就高达 1 260 万元;物流运输方面,2017 年国家统计局统计全国载货汽车拥有量约 1 400 万辆,每辆车定位服务费用仅按照每年 300 元测算,物流运输定位市场就约为 4.2 亿元;车联网-无人车方面,调查数据显示 2020 年全球无人车将达到约 40 万辆,中国市场占比超过 25% 即 10 万辆。无人车高精定位服务费用假设仅按照每辆每年 1 500 元测算,其市场容量为 1.5 亿元。关爱定位方面,全国学龄前儿童 1.8 亿,有配备儿童 GPS 产品需求的家庭比例超过 40%,即全国有每年有将近 1 200 万户的市场容量,定位服务费用仅按照每户每年 10 元测算,儿童关爱定位市场容量约为 1.2 亿元。

无线定位市场容量巨大,不同的行业应用对无线

定位有着不同的精度和广度要求。单一的定位手段无法满足市场需求,表 2 展示了不同的定位场景对定位技术的具体需求。

表2 定位应用场景精度需求分析

应用场景	所需精度	所需反应时间
110 警用救援	30 m	<60 s
120 医疗救援	30 m	<60 s
道路抢险等紧急救援	100 m	<2 min
物流运输	50 m	<1 min
无人车定位	20 cm	<20 ms
儿童关爱定位	30 m	<2 min

2 典型蜂窝网无线定位技术探索

当移动终端与邻近基站进行通信时,其无线信息会通过主小区基站传输到数据中心,而定位服务会进一步处理无线信息,从而获取当前移动终端的位置。最常用的无线信息包括主小区 ID、邻小区 ID、主小区 RSRP、邻小区 RSRP 值等。利用这些无线信息,可以进行基站定位(Cell_ID)、场强模型定位、到达时间定位(TOA)、到达时间差定位(TDOA)、到达角度定位(AOA)、信号指纹定位等等。

2.1 CELL_ID 定位技术

以终端连接的主基站经纬度信息为自身的位置信息,仅靠单站即可完成定位,实现方式简单,但定位精度不高,一般在几百米到几千米不等,很大程度上取决于基站密度,城市等基站密集区精度可达 200~500 m,而在偏远的郊区则能达到 1~2 km。为了提高 CELL_ID 的定位精度,可在此基础上增加 RTT 或者 AOA 信号到达角等信息。

运营商在落地实践中发现 CELL_ID 定位技术定位精度低、准确率低,主要是因为运营基站过程中,基站维修、搬迁、停站、新建等过程不能及时统一的上报,导致后台 CELL_ID 经纬度码表不能及时更新,进而造成定位失败。如何实现全国各省分统一的基站位置云化管理,使基站维护与云端基站位置码表实现线上联动,同时做好敏感数据的保密措施,是当前运营商需要思考的问题。

2.2 三角定位(TOA/TDOA)技术

TOA 技术:通过接收到的信号来求解终端位置的几何方法。以基站为圆心, $L=tc$ (t 为从基站到达终端的时间, c 为光速)为半径构成的圆形,需要至少 3 个基站的信息,即至少需要 3 个圆形交叉,获得的交叉区域

为此终端的位置。

TOA 技术需要发射端与接收端有严格的时间同步机制,限制较多。为了改善这一情况,利用终端信号到达不同基站的绝对时间差获取距离差,并以基站为焦点,距离差为长轴的双曲线,双曲线的交点就是终端的位置,即TDOA技术,如图1所示。

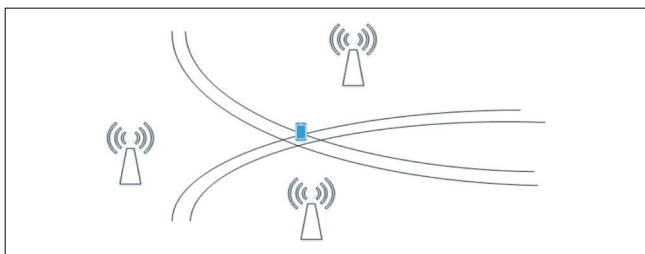


图1 TDOA定位技术原理

以上2种简单的三角测量方式均是建立在直达路径假设条件下,然而在城市实际落地的过程中发现,无线信号在复杂的环境下通常会沿着多条散射路径传播,导致定位准确率降低。此外,三角定位通常需要多个基站协作,带来了额外的基站信令开销,加重基站的负荷。因此,运营商并不常用此方法进行大规模的定位服务落地。

2.3 指纹定位技术

指纹定位技术主要利用终端的信号特征,使用大数据技术进行指纹库匹配,进而得出终端位置信息。

在蜂窝网系统中,基站侧大规模天线阵列通常被安装于空旷的高处,而移动终端通常被所处位置附近的散射体所包围,从移动终端到基站的无线信道由移动终端周围的散射体环境唯一确定^[7]。基于此,蜂窝网的位置指纹信息应是从通信环境中唯一确定的重要参数中提取出来的。指纹定位基本分为3个阶段,分别是指纹信息提取、构建指纹库、指纹信息匹配。

指纹信息提取流程:将基站覆盖扇区划分为多个栅格,而落在此栅格内所有的经纬度样本数据全部上收处理。本文中为上收MR/MDT数据作为指纹库的数据源。

构建指纹库流程:离线流程,将基站上收的数据进行清洗、筛选,经过一定的大数据算法处理后,为每一个栅格配备相应的特征值,构建位置指纹数据库。本文采用MR/MDT采集数据,使用移动终端的RSRP进行指纹库建设,由通信原理可知,某基站某扇区的栅格内RSRP值可以是唯一的(见图2)。

指纹信息匹配流程:在线流程,将新采集到的



图2 指纹库构建流程

RSRP值输入到算法模型中进行匹配分类运算,得到位置信息。常用的分类算法有KNN算法、基于概率的朴素贝叶斯算法(Naive Bayes)、支持向量机(support vector machine, SVM)等^[11](见图3)。

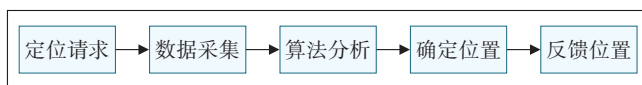


图3 指纹信息匹配流程

采用中国联通某地(市)2021年3月4日MR/MDT离线数据构建指纹库,并于2021年3月12日进行基于蜂窝网的指纹定位测试,使用中国联通定位能力API工具对抽查数据进行定位,再与抽查数据的标准经纬度进行比对。测试结果如表3所示。

本次测试中将上收的数据按照8:2的比例进行划分,其中80%的数据作为训练数据,20%的数据作为测试数据,表3中数据表示经过指纹定位得出的经纬度与实际用户上报的经纬度距离小于50 m、100 m等的占比。图4给出了指纹定位精度概率分布。

由图4可知,定位精度在100 m范围内的概率将近80%,满足大多数被动定位场景需求。

2.4 Multi-RTT定位技术

3GPP R16版本引入了5G定位技术方案,主要包括DL-TDOA、UL-TDOA、UL-AOA和Multi-RTT技术。本模块将详细阐述Multi-RTT(Multi Round Trip Time)定位技术原理。

Multi-RTT技术是利用终端与多个基站之间的相对位置来计算终端物理位置的技术方法,为了解决时钟同步的难点,技术采用上下行定位结合的方式获取RTT值,具有较高精度。

具体原理为:在下行信号发送时,基站利用本地时钟记录其发射信号时间 t_0 ,终端接收到下行信号时利用本地时钟记录接收时间 t_1 ;在上行信号发送时,终端利用本地时钟记录其信号发射时间 t_2 ,基站接收到上行信号后,利用本地时钟记录接收时间为 t_3 。此时, $RTT=(t_3-t_2)-(t_1-t_0)$,终端则位于以基站为圆心,半径为 $c \times RTT$ (c 为光速)的圆上,多个(至少3个)圆的交汇处便是终端的物理位置。由于基站与终端均是利用本地时钟记录时刻,记录的信号发射与接收时间差为

表3 指纹定位测试结果

抽查批次	50 m/%	100 m/%	150 m/%	200 m/%	250 m/%	300 m/%
1	52.60	69.36	73.41	77.46	87.46	99.77
2	53.24	80.58	82.01	82.73	93.45	100.00
3	54.82	75.21	78.61	88.24	91.78	98.97
4	53.40	83.42	86.92	88.47	97.32	98.88
5	46.34	68.39	80.58	83.43	85.57	99.00
6	53.04	88.11	93.99	94.97	95.95	100.00
7	84.95	94.62	95.70	98.39	99.46	100.00
8	78.28	86.17	91.23	95.13	97.38	98.56
9	43.09	88.18	94.85	97.25	97.77	99.94
10	44.36	80.53	86.06	88.70	89.42	98.14
11	56.61	81.83	91.12	94.71	95.24	99.24
12	38.38	74.30	84.59	93.95	96.22	100.00
13	61.74	73.92	79.46	89.33	99.47	100.00
14	73.50	85.16	90.46	92.58	99.65	100.00
15	45.68	67.37	72.97	82.62	92.83	98.72
16	50.68	77.64	88.51	93.21	94.57	98.48
17	53.83	83.61	91.20	96.40	96.52	100.00
18	52.89	68.40	81.62	86.83	95.57	100.00
19	80.86	93.19	93.72	95.41	95.64	100.00
20	51.41	78.51	86.96	87.77	88.37	98.62
21	61.43	76.70	84.78	91.39	95.07	100.00
22	49.12	66.83	74.70	82.02	93.94	100.00
23	33.38	64.43	73.31	77.66	94.85	100.00
24	51.25	78.24	86.05	91.64	98.56	99.18
25	42.18	59.46	67.63	76.13	94.41	100.00
26	66.14	91.79	93.73	95.30	97.18	97.89
27	47.33	63.60	75.33	81.33	93.33	99.33
28	92.38	98.46	99.05	99.10	99.45	100.00
29	43.24	71.18	79.09	85.02	94.69	100.00
30	39.19	61.89	69.38	77.12	94.14	99.69
31	44.21	79.60	86.38	94.26	99.41	100.00
32	73.64	85.98	86.92	86.92	92.52	100.00
33	39.56	62.31	73.52	81.84	86.37	99.01
34	43.71	65.15	77.75	84.25	99.53	99.81
35	44.16	71.01	80.14	84.97	96.71	97.68
36	80.29	91.18	94.71	97.21	97.50	99.65
37	47.04	63.42	71.60	76.48	86.63	100.00
38	69.87	86.03	92.12	99.67	100.00	100.00
平均	55.21	77.26	83.95	88.68	94.84	99.49

相对时间差,因此 Multi-RTT 技术并不要求终端与基站的时钟同步。

3 中国联通定位能力产品规划

被动定位在市场上存在很多刚性的场景需求,如

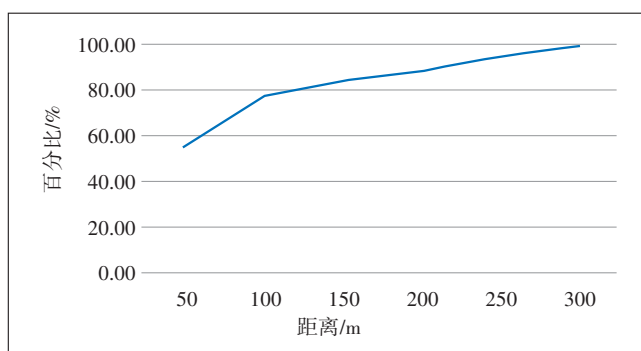


图4 指纹定位精度概率分布图

疫情防控、110刑侦办案、检查机关对犯人进行管教监管等,传统的定位技术(如GPS、北斗等主动定位手段)无法满足这些场景需求。而依托于运营商网络能力及网络数据的定位方案,如基站定位、三角定位、指纹定位,能够解决这些问题。

中国联通以升级现有LBS产品为目标,进行定位能力中心产品架构的搭建,实现了对指纹定位、三角定位、CELL_ID定位等多种定位能力的研发,并可以根据需求场景对之进行融合编排、统一输出;完成了定位业务运营管理平台的设计与开发,实现了对定位能力的管理及调用情况的分析;增加客户自服务系统的设计研发、增加基于定位能力的原子应用,从而提升中国联通定位能力水平,提高中国联通在定位市场的竞争力。

搭建中国联通定位能力产品架构,完成“定位基础设施层”“定位能力层”“定位中台层”及“服务层”4层服务体系(见图5),以实现中国联通定位能力产品的商业化输出。其中“定位基础设施层”实现全国范围内4G/5G、CORS基站的统一纳管;“定位能力层”实现了在定位基础设施之上的定位能力建设,包括三角定位、基站定位、指纹定位等等;“定位能力中台层”实现了中国联通定位能力的集约化管理与编排,将中国联通定位能力包装为商业化可售卖的标准“API商品”;“服务层”针对中国联通定位运营团队及客户两大角色,设计出“运营服务子系统”及“客户服务子系统”,两大系统互相联动,满足对定位业务的运营需求,其主要实现的功能包括:

a) “管”,对定位业务进行管理,包括订单的审核处理、账单处理、对业务的启停控制等。

b) “查”,辅助运营及运维人员,对业务开展过程中的问题进行定位、排查,包括异常分析、工单处理等。

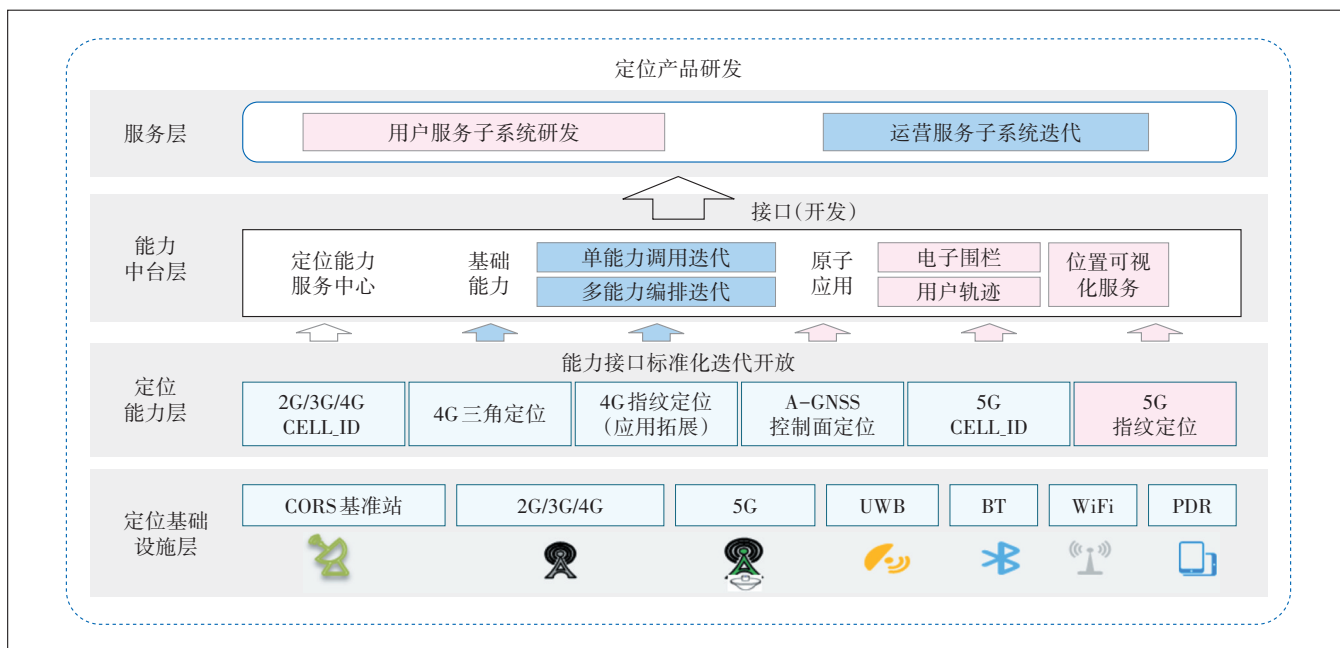


图5 中国联通定位产品架构图

c) “算”，为产品运营提供多维度的报表，通过按客户、地区、应用类型、时间等不同维度的组合，结合接口调用情况、账单情况等，在经营分析方面提供数据及图表支持。

4 总结

蜂窝网无线定位技术是蜂窝网无线技术研究的重要方面，它具有很大的学术研究价值和市场价值，由于它具有先天的可以主动定位移动终端优势，在公安、消防、医疗等公共安全健康领域具有一定程度的不可替代性。中国联通建设了不同精度、不同准确度的多种定位能力，并实现了定位能力的产品化、商品化，以满足多样化的场景需求，助力国家公共安全事业的发展升级。

参考文献：

[1] REED J, RAPPAPORT T. An overview of the challenge and progress in Meeting the E-911 requirement for location service [J], IEEE Communication Magazine, 1998, 36(4):30-37)

[2] 程飞,章平,陈新泉,等. 5G移动通信系统中协作定位技术展望[J]. 天津理工大学学报, 2020, v.36; No.159(02):48-54.

[3] 张平,陈昊. 面向5G的定位技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 41(5):1-12.

[4] 庄凌凡,刘留,张嘉驰,等. 基于5G蜂窝网络的城市列车高精度定位探讨[J]. 导航定位学报, 2020, 8(5):1-10.

[5] 程飞,章平,陈新泉,等. 5G移动通信系统中协作定位技术展望

[J]. 天津理工大学学报, 2020, 36(2):46-51.

[6] 邓中亮,尹露,杨磊,等. 基于联邦卡尔曼的GPS/基站定位信息融合算法[J]. 北京邮电大学学报, 2013, 36(6):32-36.

[7] 孙晓宇. 大规模MIMO系统用户调度与定位方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2019.

[8] 徐英凯,蜂窝网无线定位方法研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013.

[9] 李学斌. 第4代移动通信系统终端定位技术简述[J]. 网络与通信, 2015(8):51-53.

[10] 吴虹,王国萍,彭鸿钊,等. 一种基于KNN的室内位置指纹定位算法[J]. 2020, 53(6):5-9.

[11] CLEOPHAS T J, ZWINDERMAN A H. Introduction to Machine Learning[M]. Berlin: Springer Netherlands, 2013.

[12] 陈诗军,王慧强,陈大伟. 面向5G的高精度融合定位及关键技术研究[EB/OL]. [2021-07-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20180524.1117.002.html>.

[13] 欧阳俊,陈诗军,黄晓明,等. 面向5G移动通信网的高精度定位技术分析[J]. 移动通信, 2019, 43(9):13-17.

[14] 赵亚东,尉志青,冯志勇,等. 卫星导航与5G移动通信融合架构与关键技术[J]. 电信工程技术与标准化, 2017, 1(30):48-53.

[15] 吴声彬. 基于5G网络的定位技术研究与应用[J]. 通信电源技术, 2020, 37(11):189-191.

作者简介：

徐亚楠,工程师,硕士,主要从事5G无线技术、蜂窝定位、MEC等技术研究与创新业务孵化等工作;蔡超,高级工程师,硕士,主要从事移动通信技术研究和5G行业应用新业务孵化等方面工作;杨立辉,工程师,硕士,主要从事5G无线技术、蜂窝定位等创新业务孵化等工作;冯瑜瑶,助理工程师,硕士,主要从事5G智慧交通、基站定位等创新业务孵化等工作。