

基于 OTDOA 的 NB-IoT 定位功能 研究及实现

Research and Implementation of NB-IoT Positioning Function Based on OTDOA

董帝焯¹, 许绍松², 张力方³, 赵 元³(1. 中国联通福建分公司, 福建 泉州 362000; 2. 中国联通福建分公司, 福建 福州 350000; 3. 中国联通网络技术研究院, 北京 100048)

Dong Dilang¹, Xu Shaosong², Zhang Lifang³, Zhao Yuan³(1. China Unicom Fujian Branch, Quanzhou 362000, China; 2. China Unicom Fujian Branch, Fuzhou 350000, China; 3. China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

3GPP 于 2017 年 6 月冻结了 NB-IoT R14 版本的核心规范, 针对本次的技术演进, 定位功能成为 R14 版本的新特性之一。基于 OTDOA 定位技术的理论和实践研究, 通过 OTDOA 定位系统的搭建, 利用终端测量的定位参考信号的时间差, 最终获取采用 OTDOA 定位方式的测量结果并对定位精度进行分析, 最后给出 NB-IoT 定位的应用参考建议。

关键词:

NB-IoT; 观察到达时间差; 窄带定位参考信号; 参考信号时间差测量

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2020.01.007

文章编号: 1007-3043(2020)01-0032-06

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:

In June 2017, 3GPP frozen the core specification for the NB-IoT R14 version. For this technology evolution, the positioning function has become one of the new features of the R14 version. Based on the theoretical and practical research of OTDOA positioning technology, through the construction of OTDOA positioning system and the measurement of time difference of positioning reference signal by terminal, the measurement results using OTDOA positioning method are finally obtained and the positioning accuracy is analyzed. Finally, it gives reference to the application of NB-IoT positioning.

Keywords:

NB-IoT; OTDOA; NPRS; RSTD

引用格式:董帝焯, 许绍松, 张力方, 等. 基于 OTDOA 的 NB-IoT 定位功能研究及实现[J]. 邮电设计技术, 2020(1): 32-37.

0 引言

移动通信多年来一直服务于人的通信, 随着社会和技术的发展, 物与物的通信需求催生了万物互联的物联网。产业的升级、城市的智能化、人民生活的智慧化使得物联网近年来高速蓬勃发展。根据 GSMA 的预测, 2025 年全球物联网市场规模将达到 1.1 万亿美元, 在全球范围内将会有 138 亿工业物联网的连接, 其

中 63 亿在亚太地区和 中国, 占总数的 65%。

物联网通信技术从通信的距离来分, 主要分为用于短距离通信的 ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 等和用于长距离通信的 GPRS、NB-IoT、eMTC、Lora、SigFox 等, 这些长距离通信的物联网又称为低功耗广域网(LPWAN), GPRS、NB-IoT、eMTC 工作在授权频段, 而 Lora、SigFox 工作在非授权频段。目前 NB-IoT 越来越受运营商和设备制造商的青睐, 已逐步发展成为物联网技术的主流。窄带物联网 NB-IoT 技术出现在 2016 年 6 月份冻结的 3GPP R13 版本, 基于 LTE 网络进行精简, 使得

收稿日期: 2019-10-24

NB-IoT技术在低功耗、大连接、低成本、广覆盖等方面更具有优势。

在移动通信中,基于位置服务(Location Based Service)技术已经广泛应用。随着物联网业务需求的发展,如物流跟踪、共享单车定位应用等,定位能力逐渐成为运营商和客户的重要需求^[1]。目前在定位技术中最成熟并且广泛应用的当属GPS,但由于相当多的物联网终端应用在室内,卫星信号弱无法定位,并且对于物联网终端考虑的是低成本和低功耗,增加GPS系统势必增加终端成本,因此,需要研究通过基站进行物联网终端定位的技术。2017年6月,3GPP R14版本增加了NB-IoT的定位服务技术,提供了E-CID和OTDOA 2种定位解决方案。

1 NB-IoT的定位方法

在NB-IoT的第1个版本R13中,下行公共信号或信道无法满足边缘覆盖的定位需求,但在R14版本,增加了定位参考信号(PRS——Positioning Reference Signal),支持增强的小区标志(E-CID)定位技术和观察到到达时间差(OTDOA——Observed Time Difference Of Arrival)定位技术^[2]。在这2种方法中,E-CID是利用基站或UE测量参考信号强度,结合传播模型来计算基站与终端的距离,这种定位技术实现起来比较简单,但受限于参考信号强度的测量和传播模型的计算,定位的精度不高。而OTDOA的定位方法是基于时延的测量,定位精度一般比E-CID定位高,本文主要基于OTDOA进行研究,对于E-CID的定位方法不展开介绍和分析。

在NB-IoT的部署方式中,有基于LTE的带内部署、保护带部署和独立部署3种方式,目前考虑到物联网终端对于深度覆盖和边缘覆盖的需求,现网都是以独立部署方式进行部署,这种部署方式更有利于NB-IoT的定位技术,本文也是基于独立部署方式的NB-IoT进行研究。

1.1 OTDOA定位技术

OTDOA最早应用在LTE R9版本,它通过终端从2个不同小区接收下行链路信号之间观察到的时间间隔来进行定位计算。3GPP在R9中专门引入了定位参考信号(PRS)用于终端测量,终端基于参考信号测量时间差(RSTD),再由位置服务器计算估计位置^[3]。

如图1所示,终端在 τ_1 时刻接收来自eNB₁的信号, τ_2 时刻接收来自eNB₂的信号,那么终端观察到的来自

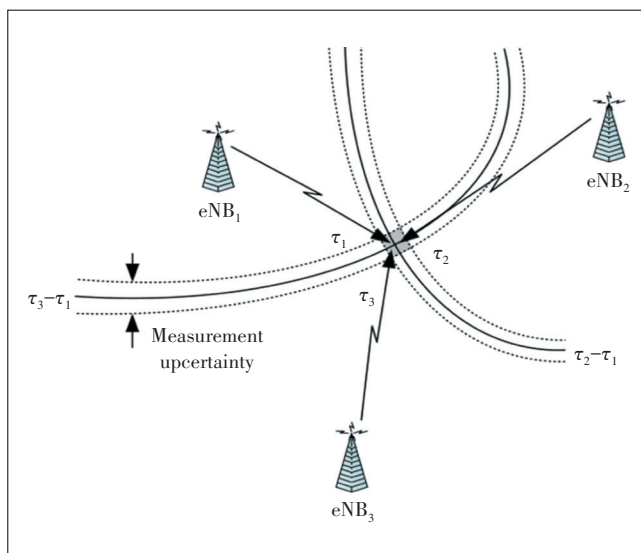


图1 OTDOA定位技术示意图

eNB₂到eNB₁的时间差为 $\tau_2 - \tau_1$ 。观察的时间差在地理上对应2个小区接收信号路径的差距,在几何上以实线的双曲线表示。由于观察的时间差有分辨度的差距,因此用虚线双曲线具有一定的宽度来表示,说明了测量的不确定性。同理,终端观察到的来自eNB₃到eNB₁的时间差为 $\tau_3 - \tau_1$,形成第2条实线双曲线和虚线的双曲线范围。这2条实线双曲线相交的点就是终端位置,而2组虚线双曲线交叉的区域(灰色阴影区域)就是估计的终端位置。要实现OTDOA定位,最少需要来自3个小区的测量,才能形成2条双曲线的交叉,同时交叉区域直接影响到OTDOA的定位精度。

1.2 窄带定位参考信号NPRS

早在3GPP R9版本为了实现终端OTDOA的定位方法,引入了定位参考信号PRS,在NB-IoT的R14版本中,3GPP也采用了和LTE的PRS相似的设计,NPRS信号基于物理小区标识(PCI)生成QPSK调制的伪随机序列,映射到时频网络中的RE。NPRS的循环前缀只能使用正常的CP,NPRS在天线端口2006上传输。根据3GPP TS 36.211,NPRS信号序列定义为^[4]:

$$r_{l,n}(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \times c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \times c(2m + 1))$$

式中:

n_s ——时隙号

l ——该时隙的OFDM符号位置

m —— $m = 0, 1, \dots, 2N_{RB}^{max,DL} - 1$

$c(i)$ ——由长度为31的Gold序列生成的伪随机序列,它的初始状态取决于PCI、 n_s 、 l 和循环前缀CP类型,生成的方式如下:

$$c_{\text{init}} = 2^{28} \times \left\lfloor \frac{N_{\text{ID}}^{\text{NPRS}}}{512} \right\rfloor + 2^{10} \times (7 \times (n_s + 1) + l + 1) \times (2 \times (N_{\text{ID}}^{\text{NPRS}} \bmod 512) + 1) + 2 \times (N_{\text{ID}}^{\text{NPRS}} \bmod 512) + N_{\text{CP}}$$

生成的NPRS序列映射到复数值QPSK调制符号 $a_{k,l}^{(p)}$,在独立部署方式下,被映射到如图2所示的RE位置。

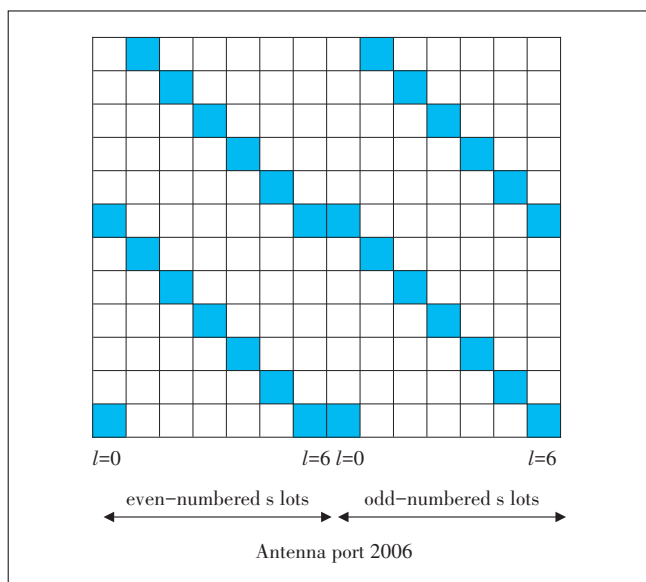


图2 独立部署方式NPRS信号映射位置图

从图2中可以看出,NPRS信号呈对角线方式进行映射,在每一个符号和子载波都有存在,这种结构减少了相邻小区定位信号之间的干扰,增强了相邻小区NPRS信号的侦听测量。在独立部署方式下,单个定位子帧每个符号都能作为NPRS符号,而相比带内部署方式,单个定位子帧中只有8个符号可以作为NPRS符号^[5],因此独立部署方式的NPRS比带内部署方式高 $10\lg(14/8)=2.43$ dB。

1.3 参考信号时间差测量RSTD

在3GPP TS 36.214中规定了用于OTDOA定位的参考信号时间差测量,RSTD被定义为2个小区(参考小区和测量小区)之间的相对定时差,计算为从2个不同小区接收的2个子帧边界之间的最小时间差 $T_{\text{subframeRx}_j} - T_{\text{subframeRx}_i}$,其中 $T_{\text{subframeRx}_j}$ 是UE从相邻小区 j 接收一个子帧的开始的时间, $T_{\text{subframeRx}_i}$ 是UE从参考小区 i 接收到与从小区 j 接收的子帧最近的一个子帧的相应开始的时间^[6]。不同于LTE系统,

NB-IoT中RSTD的测量只能在RRC空闲态。

1.4 定位的计算

在图1中,假设终端的位置为 $[x_0, y_0]$,eNodeB _{j} 的位置为 $[x_j, y_j]$,信号从eNodeB _{j} 传输到终端位置的时延为 τ_j ,距离为 $R_j, j=1, 2, 3$,其中 $R_j = \tau_j \times c, c$ 代表光速。那么可以得到:

$$R_j = \tau_j \times c = \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}$$

考虑到,

$$\text{RSTD}_{2,1} = \tau_2 - \tau_1 = \left(\sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2} - \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \right) \div c$$

$$\text{RSTD}_{3,1} = \tau_3 - \tau_1 = \left(\sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2} - \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \right) \div c$$

通过求解以上2个方程组,就可以求出 $[x_0, y_0]$ 的位置。

1.5 NB-IoT定位相比LTE存在的问题

NB-IoT的定位方法是直接借鉴LTE系统,但由于NB-IoT是窄带系统,相比LTE的定位存在一些不足。

a) 时延分辨率问题。LTE常用带宽为20 MHz,子载波间隔为15 kHz,FFT采样频率为2 048,系统的采样率为 $15\ 000 \times 2\ 048 = 30.72$ MHz,可以达到时延的分辨率为1个TS为32.5 ns。而NB-IoT系统的带宽只有180 kHz,在子载波15 kHz的间隔,FFT采样频率为128,系统的采样率为 $15\ 000 \times 128 = 1.92$ MHz,可以达到时延分辨率为16个TS,约520.8 ns。时延分辨率直接影响定位精度,为了提高定位精度,未来NB-IoT可以采用更高的采样率,但也会带来硬件成本的增加。

b) 广覆盖的问题。一般来说,NB-IoT系统设计时就比LTE增加了20 dB的覆盖增强能力,但相当多的物联网终端常常处于室内深度覆盖或边缘覆盖的区域,相比LTE,信噪比更低,对定位也带来更大的挑战。

c) 信号的多径和非视距问题。无线信号在空间传播经常受到建筑物、树木等的遮挡,有直射、反射、衍射等多种传播方式,存在多径和非视距的传输。产生的多径分量会对时延的估计造成干扰,非视距的传输增加了时延估计算法的复杂度。

d) 大量定位需求的问题。NB-IoT系统在设计初期就是为了适应大连接的需求,但如果在一个小区内大量终端有定位需求,将会使得NB-IoT系统需要分配更多的网络资源用于定位,并且大量的定位测量和计

算也对系统的计算能力带来挑战。

2 NB-IoT定位方法的实现

核心网的升级改造使NB-IoT网络具备R14版本的定位功能特性,目前已经完成了基于NB-IoT R14版本的定位技术外场测试,实现了NB-IoT定位技术的同时对测量结果进行了分析。

2.1 系统搭建

在NB-IoT定位研究测试中,为了实现定位功能,需要增加移动网管位置中心(GMLC——Gateway Mobile Location Center)和演进的服务移动位置中心(E-SMLC——Evolved Serving Mobile Location Center)。GMLC提供外部LCS客户端到移动网络的接入,将位置请求和应答转发到用户当前的MME,并负责LCS客户端的认证和鉴权。E-SMLC将客户端请求的位置要求转化为相应的测量参数,对返回的位置估计测量进行计算,得出定位结果和精度,系统的架构如图3所示。

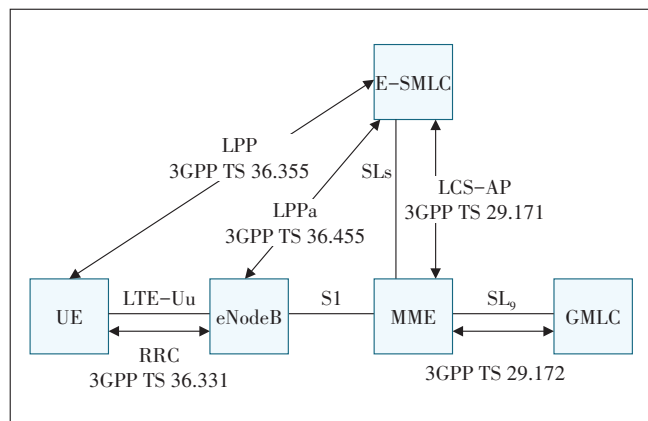


图3 NB-IoT定位的系统架构图

在本次进行的NB定位测试研究中,GMLC和E-SMLC都是新建的服务器,同时对原有的eNodeB升级到最新的R14版本,连接到新建的EMS网管。

2.2 测试区域选择

为了方便研究NB-IoT定位功能和测试,测试区域选择在城区,参考3GPP TS 36.133对于上行底噪要求在-123 dBm/15kHz以下,信号包含RSRP:-100 dBm~-132 dBm范围。最终测试区域选择在图4所示区域。

选择的整个测试区域南北走向550 m,东西走向250~300 m,测试范围共有6个NB-IoT站点,站间距平均为964 m,测试区域的站点小区PCI在图4中用红色标识,NB-IoT的PCI和LTE的一致,PCI避免了mod3

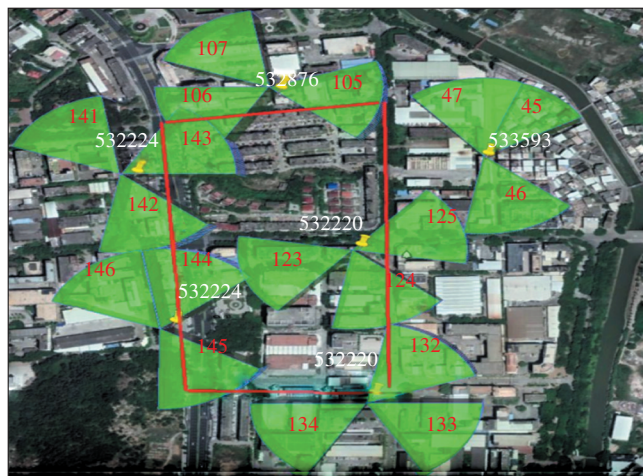


图4 NB-IoT定位站点分布及测试区域

的干扰。

2.3 OTDOA信令流程

基于OTDOA定位的信令流程参考3GPP TS 36.355 LTE定位协议(LPP),在实际测试过程中有些改进,整体流程如图5所示。

整个OTDOA定位的信令过程:

a) 位置服务器请求终端定位能力,通过下行NAS层的Downlink generic NAS transport消息,内带otdoa-RequestCapabilities信元,要求终端提供定位能力。

b) 终端反馈定位能力,通过Uplink generic NAS transport消息,内带otdoa-ProvideCapabilities信元,反馈终端定位支持的频段,是否支持RSTD、NPRS和在空闲态的测量。

c) 定位服务器通过下行NAS消息反馈ACK,表示接收到终端的定位能力反馈。

d) 定位服务器通过下行NAS消息,请求终端进行定位requestLocationInformation。

e) 终端通过上行NAS消息,请求服务器发送定位辅助数据otdoa-RequestAssistanceData。

f) 服务器通过下行NAS信息提供辅助数据otdoa-ProvideAssistanceData,包含邻小区和参考小区的小区ID、预期的TOA及其不确定性,NPRS配置索引、发送的连续NPRS子帧的数量,以及其他可选的信息^[7]。

g) 终端释放RRC连接进入空闲态进行RSTD测量,测量完毕后,终端重新建立RRC连接,并通过上行NAS上报测量结果,包含服务小区和邻区的RSTD。

h) 定位服务器根据终端上报的RSTD测量结果,在服务器侧计算经纬度并呈现,通过下行NAS消息告知终端定位结果。

1919	000:01:18.250	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
1921	000:01:18.250	DL	LEN:6	Service accept
1932	000:01:18.360	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
1934	000:01:18.360	DL	LEN:9	Downlink generic NAS transport
1936	000:01:18.370	UL	LEN:70	Uplink generic NAS transport
1940	000:01:18.370	LTE_UL_DCCH	SRB1bis	U1_information_transfer_r13
1951	000:01:18.600	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
1954	000:01:18.600	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
1956	000:01:18.610	DL	LEN:10	Downlink generic NAS transport
1959	000:01:18.610	DL	LEN:21	Downlink generic NAS transport
1962	000:01:18.620	UL	LEN:14	Uplink generic NAS transport
1966	000:01:18.620	LTE_UL_DCCH	SRB1bis	U1_information_transfer_r13
2011	000:01:23.610	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
2013	000:01:23.610	DL	LEN:104	Downlink generic NAS transport
2092	000:01:35.240	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	Rrc_connection_release_r13
2113	000:01:35.330	LTE_BCCH_BCH	Mib	EARFCN = 3 600, PCI = 161
2115	000:01:35.330	LTE_BCCH_SCH	Sibx	EARFCN = 3 600, PCI = 161
2134	000:01:36.460	UL	LEN:3	Control plane service request
2141	000:01:36.460	LTE_UL_CCCH	SRBO	Rrc_connection_release_r13
2155	000:01:36.630	LTE_DL_CCCH	SRBO	Rrc_connection_setup_r13
2162	000:01:36.640	LTE_UL_DCCH	SRB1bis	Rrc_connection_setup_complete_r13
2176	000:01:36.760	LTE_DL_DCCH	SRB1bis	D1_information_transfer_r13
2178	000:01:36.760	DL	LEN:2	Service accept
2180	000:01:36.760	UL	LEN:59	Uplink generic NAS transport

图5 OTDOA 定位的信令消息图

2.4 测试结果

在进行定位的测试中,每一次的定位测试,需要通过分析每一条测试信令,确认定位流程,找出定位服务器给出的终端定位经纬度,并与在现场使用GPS定位的经纬度进行分析对比。在6个终端测试点中,进行了60次的定位测量。定位的结果如图6所示,蓝色标识为GPS的经纬度,黄色标识为OTDOA定位的经纬度。

从图6可以看到OTDOA计算定位后的黄色点与蓝色测试点的分布情况,黄色定位点与蓝色测试点的



图6 OTDOA 定位结果展示图

聚合程度反映出定位的精度。从整体上来分析,在本次OTDOA的定位测试中,16.67%的测试点达到50 m以内的定位精度,45%的测试点达到100 m以内的定位精度,66.67%的测试点达到150 m以内的定位精度,88.33%的测试点达到200 m以内的定位精度(见图7)。

2.5 结果分析

从上面的结果可以看到OTDOA定位精度还有待提升,对定位精度影响很大的因素为RSTD的测量。在本次定位测试的一些信令分析中,RSTD测量值RSTD=6 316。

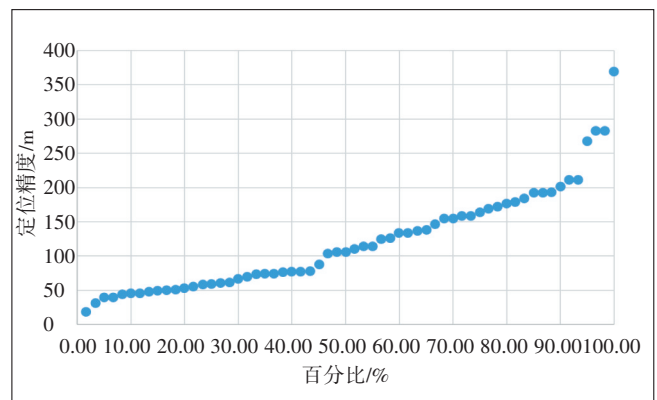


图7 OTDOA 定位精度比例分布图

根据 3GPP TS 36.133 R14 Table 9.1.10.3-1:RSTD report mapping^[8],RSTD=6316 映射到测量值为-40,在 RSTD_2260 到 RSTD_10451 的范围内 resolutionStep 为 0.5,因此 RSTD 对应到-20 个 Ts,1 个 Ts 的传播距离大约是 9.8 m,20 个 Ts 的距离为 196 m,这符合测试结果 88.33% 的测试点达到 200 m 以内的定位精度。

3 NB-IoT 定位的应用

定位的功能提高了 NB-IoT 系统的广泛应用潜力,按照 NB-IoT 定位精度,可以应用于以下一些业务。

a) 对定位精度要求很低,达到 500 m 精度的情况下,可以用在无人放牧、植物状态监控等场景。

b) 对定位精度要求比较适中,达到 200 m 精度范围内,可以应用在一些货品仓储、运输跟踪、物流监控等场景。

c) 对定位精度要求比较高,达到 100 m 精度的情况下,可以应用在一些特殊人群看护、宠物跟踪等场景。

d) 对定位精度要求很高,达到 50 m 精度的范围内,可以应用在共享单车、可穿戴设备定位跟踪、老人/儿童防走失等场景。

目前基于 NB-IoT 的定位技术,定位精度还不能和 GPS 一较高下,对于超高精度定位需求,如 1 m 的定位精度,目前只能利用 GPS 进行定位。

4 结束语

本文对 NB-IoT R14 版本所提出的 OTDOA 定位技术进行了理论和实践研究。通过对现网进行部署,实现 OTDOA 的定位功能,并对定位测量精度进行了分析,对于 OTDOA 的定位精度提升,需要系统有更高的采样率来减少时延分辨率,同时需要加强定位算法的研究用于提升定位精度。

参考文献:

[1] 3GPP R1-167101 Discussion on positioning requirements for enhanced NB-IoT[EB/OL]. [2019-11-25]. ftp://ftp.3gpp.org/.
 [2] 戴博,袁弋非,余媛芳.窄带物联网(NB-IoT)标准与关键技术[M].北京:人民邮电出版社,2017.
 [3] FISCHER S. Observed Time Difference Of Arrival (OTDOA) Positioning in 3GPP LTE [EB/OL]. [2019-11-25]. https://www.qualcomm.com/media/documents/files/otdoa-positioning-in-3gpp-lte.pdf.
 [4] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical

channels and modulation; 3GPP TS 36.211 [S/OL]. [2019-11-25]. ftp://ftp.3gpp.org/.
 [5] 解运洲. NB-IoT 技术详解与行业应用[M]. 北京:科学出版社,2017.
 [6] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements; 3GPP TS 36.214[S/OL]. [2019-11-25]. ftp://ftp.3gpp.org/.
 [7] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE Positioning Protocol (LPP); 3GPP TS 36.355[S/OL]. [2019-11-25]. ftp://ftp.3gpp.org/.
 [8] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management; 3GPP TS 36.133[S/OL]. [2019-11-25]. ftp://ftp.3gpp.org/.
 [9] 陈亚军,彭建华,黄开枝,等. LTE 系统中的 Mean-OTDOA 定位算法[J]. 计算机应用研究,2014,31(6):1783-1786.
 [10] 王春光,许瑾. 3G 定位业务中的 OTDOA 增强技术[J]. 电信科学,2005,21(8):9-13.
 [11] 后茜. LTE 系统中终端定位技术的研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2015.
 [12] HU S, BERG A, LI XH, et al. Improving the Performance of OTDOA based Positioning in NB-IoT Systems [C]// GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference. IEEE, 2018.
 [13] LIN X, BERGMAN J, GUNNARSSON F, et al. Positioning for the Internet of Things: A 3GPP Perspective [J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(12): 179-185.
 [14] 崔理伟,林基明,符杰林,等. 一种在 NLOS 环境下应用于 NB-IoT 系统的组合定位算法[J]. 现代电子技术(11):1-6.
 [15] 印翀. 基于 NB-IoT 网络的定位技术研究[J]. 移动通信,42(12): 24-29.
 [16] 游权. NB-IoT 技术在 USB 小型存储设备定位管理中的应用研究[J]. 通信与信息技术,2018,236(6): 18-24.
 [17] 孙宪福. 基于 NB-IoT 技术的定位终端软件设计与实现[J]. 中国新通信,2018,20(15): 110.
 [18] 方宇,刘文财,陈天生. 基于 NB-IoT 的防盗定位追踪系统[J]. 数字技术与应用,2018,36(10): 182-183+185.
 [19] 谭华,张光华. 基于基合导航系统和 NB-IoT 的北斗高精度导航定位服务云平台[J]. 移动通信,2018,42(12): 46-50.
 [20] 瞿祯. LoRa 与 NB-IoT 技术开启物联网新格局[J]. 现代信息技术,2017,2(6): 205-206.
 [21] 王少锋. 窄带物联网 NB-IoT 技术特点及在电动自行车联网管理方面的应用[J]. 数字通信世界,2018,169(1): 215-216.

作者简介:

董帝煌,毕业于厦门大学,高级工程师,主要从事 WCDMA、LTE 的网络优化和移动网无线新技术的研究;许绍松,高级工程师,主要从事 WCDMA、LTE 的网络优化和移动网无线新技术的研究;张力方,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要从事室内分布系统、光纤分布系统、LTE 无线通信技术、物联网技术研究;赵元,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事室内分布系统、LTE 无线通信技术、物联网技术研究。