

移动通信定位技术之比较

邱善勤^{*1} 龚耀寰²

(1. 中国科技集团公司第二十九研究所 成都 610036; 2. 电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】随着移动通信的发展,在移动通信中提供除语音通信外的新的服务功能成为增长热点,而定位服务是最重要的热点之一,其原因与E-911条例要求所有移动网络在运行时必须在一定的时限内提供定位服务有关,该文通过对国外大量文献的研究,详细介绍了现有的各种移动通信定位技术,通过对各种定位方法进行深入研究和比较后,指出了它们的实现方法及各自存在的优点和不足。同时介绍了该技术领域的研究现状,并对今后技术的发展方向提出了相应的设想。

关键词 定位技术; 到达时间差; 到达角度; 全球定位系统; 移动通信
中图分类号 TN929 **文献标识码** A

Comparision of Cellular Location Technologies

Qiu Shanqin¹ Gong Yaohuan²

(1. China Electronic Technology Group Corporation NO. 29 Research Institute Chengdu 610036;
2. School of Electronic Information UEST of China Chengdu 610054)

Abstract By the mobile communication developing, location technology became new service of hotspot. More and more research organization have paid attention to this technology and it is necessary that mobile proprietor must provide location service before 2001 years. This paper it introduce all kinds of cell location techniques, advantage and disadvantage of every method is also said. In the end it point out the problems that have to be researched in the future and the trend of this technology.

Key words location technology; TDOA; AOA; GPS; mobile communication

为了改善针对移动电话用户的公共安全服务,美国联邦通信委员会(FCC)发布了E-911条例,其目的在于当求助者使用移动电话拨打紧急求助电话时,服务中心能够迅速并且较为准确的确定求助者的位置,从而为公众提供更为迅速有效的救助服务。E-911条例要求所有移动网络运营商必须在一定的时限内,并且满足一定的定位成功概率(67%)和定位精度(125 m以内)的条件下,对所有手机用户实现定位功能^[1]。该条例的发布成为推动蜂窝定位技术研究的一大动力,各种针对现在和将来无线蜂窝通信系统定位技术的研究和实验非常活跃,以期能够在规定的时限内达到E-911条例的要求。

在过去几年中,由于手机用户不断增长、移动通信市场不断的膨胀,作为移动通信增值业务的一种,蜂窝定位技术亦呈现出诱人的市场前景。其主要应用有:

- 1) 公共紧急救助电话服务(例如美国的911、欧盟的112等);
- 2) 商业求助电话服务;
- 3) 被盗车辆跟踪系统;
- 4) 移动通信运营商对恶意欠费用户的跟踪和追查;
- 5) 对残疾人、高危人群、迷路者及儿童提供个人救助服务^[2];

2003年4月10日收稿

* 男 34岁 在职博士生 主要从事信号与信息处理方面的研究

6) 智能运输系统(ITS)^[3]。

由于蜂窝定位技术有着广泛的应用前景和巨大的市场潜力(据估计,其市场前景为187亿美元),尤其是在移动电子商务上的光明前景,使得许多公司和研究机构投入大量的资金和人力进行研究和开发,各种定位技术相继提出,研究活动日趋活跃。本文下面将分析介绍现有各种蜂窝定位技术和该技术在国内外最新的发展趋势。

1 移动通信定位技术

由于无线通信信道的极度随机性和现有各种移动通信标准的并存,使得出现了相应的定位技术来适应不同的无线环境和特定的移动通信系统。总体来说,我们可以将它们分为两类:基于网络的定位技术和基于移动台的定位技术。

基于网络的定位技术主要依靠移动通信网络来实现对定位参数的测量和用户位置的计算。该类技术一般不需要对现有系统用户的手机进行修改或者只对手机内部软件进行小规模升级,所以适用于对已有用户的手机进行定位。其主要缺点是定位精度不高,而且对某些系统(如CDMA)定位的覆盖率较低。

基于移动台的定位技术需要手机部分或全部参与定位参数的测量和坐标位置的计算,所以必须对手机和网络的软硬件进行修改和升级。这类技术的优点是定位精度较好(如手机内部集成GPS接收机),而且定位的覆盖率较高。其缺点主要是很难对已有用户的手机进行定位,对于某些手机内部需要集成GPS接收机的系统,手机的能耗是一个很大的问题。

除了以上两种定位方法外,还有一种技术综合了上述两种定位技术的优点并克服了各自的一些缺陷,以期获得更高的定位精度,更大的覆盖范围以及更低的造价,我们称之为混合定位技术。

1.1 基于网络的定位技术

基于网络的定位技术主要依靠网络自身固有的定位能力(如移动台所在小区的Cell-ID,对上行链路信号衰减程度的测量,AOA, TDOA等)对移动台进行定位。本节主要讨论以下几种方法:基于Cell-ID和时间提前量(Timing Advance, TA)的方法、上行链路信号到达时间测量(TOA)、上行链路信号到达时间差测量(TDOA)以及上行链路信号到达角度测量(AOA)。

1.1.1 基于Cell-ID和时间提前量的方法

在蜂窝通信系统中,当知道移动台所在服务小区的Cell-ID时,则可将移动台的位置限定在该小区范围内实现对移动台位置的估计。Cell-ID的获取通过使用标准Cell-ID方法、Cell-ID STK、Cell-ID IN及Cell-ID WAP方法实现。

TA是GSM系统中用来同步移动台(MS)和相应控制基站(BTS)的控制信号,它也可以用来作为移动台和基站之间距离的度量。如图1所示,当知道移动台的TA后,就可以将移动台限定在以TA估计出的基站和移动台之间距离为半径,基站位置为圆心的圆周上。显然,在使用TA进行定位前,还需要了解移动台服务小区的Cell-ID, Cell-ID的获取可以通过上述方法进行。

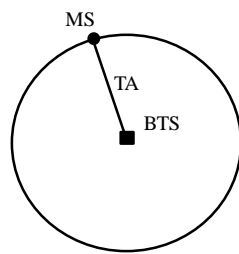


图1 利用Cell-ID和TA实现对移动台的定位

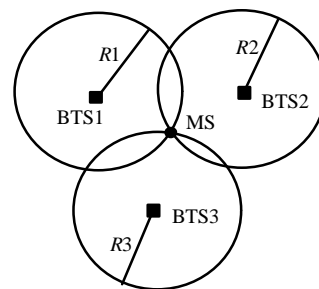


图2 TOA定位原理

如果将移动台分别强制切换到与控制基站相邻的两个基站上并得到各自的TA,利用圆周定位方法(在本文后面部分论述)将移动台的位置限制在一个更小的范围内,从而获取更高的定位精度。

1.1.2 上行链路信号到达时间和到达时间差方法

TOA和TDOA都是通过测量移动台和基站之间信号传播时间进行定位的方法,其中TOA使用圆周定位而TDOA使用双曲线定位。对于蜂窝定位所要求的二维定位而言,使用上行链路信号的TOA和TDOA都要求至少三个基站参与定位操作。定位操作开始时,移动台首先通过异步切换发送一段已知信号给邻近的几个基站(如在GSM系统中发送接入突发脉冲序列),基站接收到信号后经过测量得到信号到达时间估计,或者将测量结果送往移动定位中心(MLC)获得基站两两之间的信号到达时间差估计。MLC得到TOA估计或TDOA估计后,调用相应的定位计算例程计算出移动台的位置。图2和图3分别示出了基于上行链路的TOA和TDOA定位原理。其中,BTS1、BTS2、BTS3分别表示参与定位的三个基站,其地理位置已知,MS表示移动台, R_1 、 R_2 、 R_3 是根据相应基站的TOA估计计算出的移动台和相应基站距离的估计。分别以 R_1 、 R_2 、 R_3 为半径,相应基站位置为圆心的三个圆周的交汇处即为移动台的位置,此即为圆周定位方法;分别以BTS1、BTS2和BTS1、BTS3为焦点,和各自焦点距离的差值恒为 R_1-R_2 和 R_1-R_3 的两条双曲线的交点即为移动台的位置,此即为双曲线定位方法。

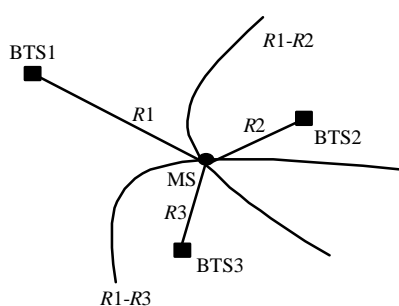


图3 TDOA定位原理

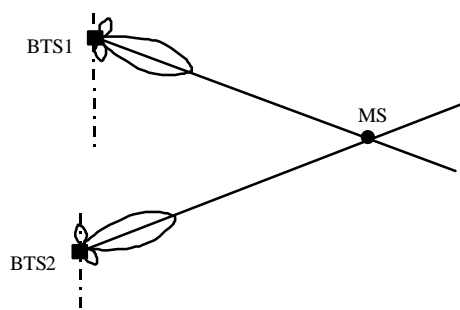


图4 AOA定位方法

显然,要想得到TOA的准确估计,必须要求移动台和基站保持严格同步。但对于TDOA的估计则无须知道信号从移动台开始传送的时间,因此只要求基站间严格同步。由于TDOA对同步要求较TOA低,而且能够大大降低和消除由于无线信道引起的多个基站TOA估计的公共误差,所以大多采用TDOA定位方法。本文在以后部分也仅论述TDOA方法,对于TOA方法不再述及。

1.1.3 上行链路信号到达角度定位方法

上行链路信号到达角度定位方法(AOA)根据两个基站分别得到的移动台信号到达角度估计(AOA)计算出移动台的位置,其原理如图4所示。由图中看出,两个基站各自测出移动台经过视距路径(LOS)到达基站信号的角度,两个视距路径反向延长线的交点可以唯一确定移动台的位置,当基站需要对到达信号的角度进行测量时,必须使用阵列天线。

1.2 基于移动台的定位技术

基于移动台的定位方法要求移动台参与定位参数的测量和移动台位置的求解计算,需要对现有移动台内部的软硬件进行修改和升级。一种直截了当的方案是在移动台内部集成GPS接收机,利用现已成熟的GPS技术实现对移动台的定位。但是在手机内部集成GPS接收机会带来诸如手机体积增大、能耗过大、成本高以及GPS接收机首次定位时间过长等问题。故如何充分利用无线网络的定位能力,经济、有效的实现对移动台的定位成为各种定位技术所面临的一个主要的问题。现已提出的基于移动台的方法主要有:下行链路观测到达时间差(OTDOA)方法、蓝牙技术、基于GPS的定位技术,如差分GPS(DGPS)、辅助GPS(AGPS)等。

1.2.1 下行链路观测到达时间差方法

OTDOA同上行链路信号到达时间差方法一样,也是利用对信号传播时间差的估计来计算移动台位置的方法。所不同的是,OTDOA使用下行链路信号来估计若干个基站两两间信号到达移动台的时间差,一般称之为移动台观测时间差(OTD)。当基站间相互同步时,移动台观测时间差(OTD)就代表了由于两个基站地理位置不同而造成的信号传播时间差,称之为地理位置时间差(GTD);当基站间无法实现精确同步时,两个基站间实际时钟差异(RTD)就会影响移动台观测时间差,此时,GTD、OTD和RTD三者之间存在以下关系: $GTD = OTD - RTD$ 。

显然,当基站间相互同步时, RTD 等于0。而当获得三个以上基站相互间的 RTD 和 OTD 后,就可以利用双曲线定位方法求解出移动台的地理位置,其中双曲线定位的原理参见图3。

1.2.2 蓝牙技术

蓝牙技术(Bluetooth)主要用于室内短距离无线通信,工作在2.45 GHz的频段上。在蓝牙技术中,可利用系统的无线设备固定访问点来对移动设备进行定位,通常将与移动设备进行通信的固定设备访问点的位置坐标近似作为移动设备的坐标,其定位精度一般可以保证在30 m以内。蓝牙定位技术可以作为其他定位方法的补充,尤其当许多定位方法对于处于室内的移动设备定位精度不佳的情况下。

1.2.3 差分GPS(DGPS)和辅助GPS(AGPS)技术

利用卫星进行定位的GPS技术经过多年的发展,已经在各个领域得到了广泛的应用。GPS能够实现三维定位,提供较高的定位精度以及全球覆盖范围。它要求在定位时,用户设备必须至少能够接收到四颗以上卫星的信号,这在大多数情况下都是能够满足的,同时用户需要专门的GPS信号接收机。

对于GPS定位技术而言,其优点是:定位精度高(民用20~100 m,军用<20 m),覆盖范围广。其缺点是:用户设备能耗大,这对于可携带设备而言就意味着更大的体积和更短的待机时间。由于GPS信号很弱,所以当用户处于繁华的城区或室内时定位精度和定位成功率下降很快。另外,GPS接收机首次定位时间(TIFF)过长,也使得GPS技术对于E-911一类的应用是不合适的。

差分GPS技术的提出是为了消除或显著降低一些影响GPS系统定位精度的公共误差(如卫星钟误差、星历数据误差、选择可用性措施(SA)引入的误差等),提高GPS系统的定位精度。其原理是使用基准接收机来消除GPS定位中的公共误差,固定的本地GPS基准接收机已知自己的地理坐标,并用GPS对自身的定位结果和自身真实的地理位置的差值作为GPS定位的公共误差修正值,对于和本地GPS基准接收机处于同一区域用相同的四颗卫星进行定位的移动接收机来说,两者存在着相同的公共误差,因此可以使用由基准接收机得到的公共误差修正值修正移动接收机的定位结果,提高系统的定位精度。在移动通信系统的实现中,一般可以将本地基准GPS接收机安放在基站上,同时将定位误差修正值传送给移动台或者移动定位中心(MLC),以便对同一区域移动台的定位计算结果进行修正。

利用GPS技术实现定位的另一个问题是存在启动时间(start-up time)过慢,能耗过大并且在城区和室内定位成功率过低等缺点,辅助GPS技术的提出正是为了克服以上困难。其主要思想是建立一个GPS参考网络,该网络中所有的接收机都能够清楚的观测到空中的卫星并保持连续的工作,整个网络与无线通信网络相连。当处于移动台内部的GPS接收机开始定位时,GPS参考网络根据移动台的大致位置将定位辅助信息(例如差分GPS校正数据、移动台大致位置、可见卫星列表、卫星信号多普勒频率以及相应的搜索窗口等)通过无线通信网络传送给移动台,以协助移动台内的GPS接收机定位。移动台根据这些辅助信息可以大致知道自己的位置以及所需要搜索的卫星的范围,因此可以大大减小搜索的范围和搜索窗的宽度,提高定位的响应时间;同时,使用这种结构移动台在每次定位前都可以获得必要的辅助数据,所以在两次定位间歇期间GPS接收机可以保持休眠状态从而大幅节约手机的电能,延长手机的待机时间。在实际系统当中,GPS接收机可以安放在基站上形成GPS参考网络并与无线通信网络相连。显然,只要建立了GPS参考网络,DGPS和AGPS的实现可以集成在一起。

1.3 各种定位方法的评估

本节拟就以下5个方面对上述几种定位方法进行评估:

- 1) 定位的精度。即移动台实际位置和其定位结果之间误差的统计平均值;
- 2) 定位的覆盖率。是指能够实施蜂窝定位的地理区域和有效的无线通信网络覆盖区域的比值;
- 3) 在各种无线环境下的鲁棒性。如是否容易受到多径、NLOS(非视距路线传播)、MAI(多址干扰)以及基站和移动台所处位置和地形的影响;
- 4) 技术实现的难易程度;
- 5) 对整个无线通信网络的影响;

首先是利用Cell-ID的定位方法。优点是易于实现、覆盖率高(整个无线网络覆盖范围)、在各种无线环境下有着良好的鲁棒性、对整个无线通信网络无任何影响;其缺点主要是定位精度太低,微蜂窝结构下定位

精度小于100 m, 在郊区则降低为35 km左右。

Cell-ID+TA的定位方法。在宏蜂窝结构下的Cell-ID+TA方法利用了GSM系统固有的定位能力, 使郊区定位精度较Cell-ID方法有较大提高(理论值在550 m以内), 其实现亦较为容易, 覆盖率也和Cell-ID相当。但是, 当处于多径和NLOS环境下TA参数会受到较大的影响, 使得定位精度大幅下降, 当利用相邻三个基站的Cell-ID和TA进行定位时, 基站位置的几何稀释度(GDOP)会对定位结果产生影响, 因此该方法鲁棒性较差, 其强制切换会降低系统的容量。另外由于该方法使用了GSM系统的特有参数TA, 其使用范围亦限制在GSM系统内。

上行链路信号到达时间差(TDOA)方法。基于上行链路的TDOA方法定位精度较前两种方法有了大幅度的提高, 但是该方法的定位精度同样容易受到多径、NLOS、基站位置的几何稀释度(GDOP)和CDMA系统中的多址干扰(MAI)的影响, 鲁棒性比Cell-ID方法差, 但好于Cell-ID+TA方法。由于在郊区无法获得足够的基站参与定位, 以及CDMA系统中移动台与控制基站距离太近时移动台发射功率太低(功率控制)导致相邻基站无法收到移动台信号进行定位操作, 导致基于上行链路的TDOA覆盖率低于前两种方法。该方法涉及到TDOA的测量和定位的计算, 因此需要在网络上做较大的修改, 技术实现代价也大于前两种方法。在具体实现中, 伪切换会影响无线系统的容量。

上行链路到达角度(AOA)方法。AOA方法定位精度与上行链路到达时间差(TDOA)方法近似, 但是该方法更容易受到多径和NLOS的影响。另一个问题是角度测量误差会随着移动台和参与定位基站距离的增大而被放大到定位结果当中去, 所以其鲁棒性比TDOA方法更差。但该方法要求参与定位的基站数目少于TDOA方法, 因而覆盖率有所上升。技术实现方面因需要在基站上安装阵列天线, 故代价较TDOA更大。

前面所述方法属基于网络的定位技术, 其最大特点是无须对用户手机进行修改和升级, 因而保护了用户的投资, 对类似于E-911这样的应用也是较好的选择。下面述及的基于移动台的定位技术其主要特点是移动台需要参与定位参数的测量和定位计算过程, 对用户手机的修改和升级是不可避免的。这一类技术的主要优点是对无线通信网络影响较小, 同时定位精度也有不同程度的提高。

下行链路观测到达时间差方法(OTDOA)。OTDOA与TDOA方法的定位精度相同。优点是不需要伪切换, 不会对系统容量产生较大影响; 不受CDMA系统功率控制的影响, 其覆盖率比TDOA方法高。缺点是需要对用户手机进行修改和升级。

DGPS和AGPS。利用无线通信网络构建GPS参考网络很容易实现DGPS和AGPS。GPS系统定位精度最高, 使用DGPS可达到10 m以下的精度, 覆盖范围也非常广(全球覆盖), 能在无线通信网络无法覆盖到的区域继续保持工作。主要缺点是在某些特定环境下(室内、高层建筑群之间)定位成功概率下降, 需要在基站上安装GPS接收机, 并且要在手机中集成GPS接收机, 使得手机成本和体积上升, 能耗增大(虽然使用AGPS技术可以大大降低GPS接收机的能耗), 同时无法针对已有用户的手机进行定位。

1.4 混合定位技术

由于每种定位技术都有着各自鲜明的优点和缺陷, 因而将若干种技术综合以彼此取长补短成为一种良好的选择。以下将分别介绍Cell-ID+TA+其他定位方法、GPS+OTDOA和AOA+其他定位方法三种混合定位技术。值得一提的是: 混合定位方法的研究仅仅开始起步, 相关的外场试验数据还未见报道^[5]。

Cell-ID+TA+其他定位方法。正如本文前面所分析, 基于Cell-ID和TA的方法有着良好的覆盖率和鲁棒性, 当无线环境的恶化使得其他定位方法(如基于GPS的方法、TDOA等)产生很大的定位误差时, 直接利用Cell-ID和TA来计算移动台的位置反而会取得更好的结果。同时, 利用Cell-ID和TA还可以帮助其他定位方法解决定位过程中的模糊问题。

GPS+OTDOA。基于GPS的定位方法(如DGPS和AGPS)定位精度高并且全球覆盖, 但是在室内和高楼林立的城区定位成功概率较低; OTDOA可以在城区和室内取得比GPS系统满意的结果, 但是在郊区由于小区半径太大而无法取得满意的覆盖率。因此两者的结合可以提供从室内、城区、郊区直至野外更为良好的覆盖率和定位精度。

AOA+其他定位方法。利用阵列天线实现的AOA方法可以测得移动台到达基站信号角度, 从而估计移动台的位置。但是该方法很容易受到NLOS的影响而大大降低定位精度。可以预计将来智能天线的广泛应用使

得对移动台到达基站信号角度的测量较容易实现,并可以估计移动台的大致位置,如果将该结果用于其他定位方法(如TDOA, OTDOA等),可以有助于其他定位方法的解模糊问题。

2 蜂窝定位技术发展的现状和未来

自从FCC发布E-911规范以来,蜂窝定位技术的研究就一直处于活跃状态,各种定位方法相继被提出。总的来说,每种定位方法都有它的优点,同时也存在一定的缺陷。例如Cell-ID方法简单,响应时间快,但定位精度太低;利用GPS的定位方法(DGPS和AGPS)定位精度高,但实现的成本高,响应时间慢。由于蜂窝定位技术的应用领域越来越广泛,不同的应用所要求的QOS(如定位精度、响应时间等)各不相同,因此,不同的定位方法在无线通信网络中的综合实现是一个较好的选择。

国外对蜂窝定位技术的研究开展较早,迄今约有近十年的历史,并相应有一些产品问世,国内则刚刚起步,相应研究文献资料也较少。近一两年由于移动通信的迅猛发展,市场规模的不断扩大,使得蜂窝定位技术的研究日趋活跃,各种标准化组织针对蜂窝定位的标准化工作亦加紧进行,如3GPP, ETSI等。从国内外的研究现状和我们的分析来看,基于网络的Cell-ID、TDOA和基于移动台的OTDOA、AGPS技术有着较大的发展前途,针对这些技术的研究工作亦较为活跃。由于移动通信系统正经历着从2G到3G的演变过程,因此蜂窝定位技术在3G上的实现也就成了被广泛关注的问题。由于3G的空中接口广泛采用了CDMA,因而蜂窝定位在CDMA系统中的实现自然成为研究的热点问题。根据已发表的各种文献和我们的分析^[2,4,5],在CDMA系统中今后需要重点解决的问题是如何克服NLOS、多径及多址干扰(MAI)对定位精度的影响。另外,在CDMA系统中使用下行链路信号来估计定位参数也是值得重点考虑的方法。

可以预见,在今后几年内,随着蜂窝定位市场的打开,该技术将会被迅速应用到产品中去,取得巨大的经济效益。

参 考 文 献

- [1] FCC Docket NO. 94-102. Revision of the commission's rules to ensure compatibility with enhanced 911 emergency calling systems[P]. 1996, RM-8 143(7)
- [2] Stefan B. Overview of location services[EB/OL]. <http://www.cordis.lu/ist/>, 2001-2
- [3] Aatique M. Position location for CDMA using TDOA techniques[J]. M.S. Thesis, MPRG Virginia Tech., 1997, (8): 48-57
- [4] George A M. Performance of hyperbolic position location techniques for code division multiple access[J]. M.S. Thesis, MPRG Virginia Tech., 1996, (8): 29-37
- [5] Aatique M. Evaluation of TDOA techniques for position location in CDMA systems[J]. M.S. Thesis, MPRG Virginia Tech., 1997, (8): 13-25

编 辑 刘文珍