

# 移动通信网络 MR 帧解析及信号指纹定位方法

王浩,王芙蓉,李可维,谢旭

WANG Hao,WANG Fu-rong,LI Ke-wei,XIE Xu

华中科技大学 电子与信息工程系,武汉 430074

Department of Electronics and Information Engineering,Huazhong University of Science and Technology,Wuhan 430074,China

E-mail:wh.hust@gmail.com

**WANG Hao,WANG Fu-rong,LI Ke-wei,et al.MR frame analysis and signal fingerprint localization algorithm in mobile communication.Computer Engineering and Applications,2009,45(17):16-18.**

**Abstract:** Through the real-time acquisition of MR frame in Abis interface and synchronous signaling analysis of MR frame,6 adjacent BCCH channels contained in frame structure is taken used to receive the level values,and then comprise a set of signal fingerprints.This can be used to make a contrast with the known location value of the standard point to achieve a more accurate level fingerprint localization algorithm,which provides a high-precision,low-complexity localization algorithm supporting real-time processing for mobile communication network management.

**Key words:** wireless location;measurement result;localization algorithm;signal fingerprint

**摘要:**通过在 Abis 接口中实时采集 MR 帧,并对 MR 帧进行同步的信令解析,运用帧结构中所包含的 6 个邻区间 BCCH 信道接收电平值,组成一组信号指纹,用以对比已通过测量的标准点位置值,从而实现较精准的电平指纹定位算法,为移动通信网络管理提供了一种支持实时处理的高精度、低复杂度定位方法。

**关键词:**无线定位;测量报告;定位算法;信号指纹

**DOI:**10.3778/j.issn.1002-8331.2009.17.005 **文章编号:**1002-8331(2009)17-0016-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TN91;TN929

## 1 引言

在对移动通信网络的研究中,按照 GSM 网络协议约定,在移动台的每次通信过程中,移动台每 480 ms 向 BTS 发送一次测量报告(measurement result,MR)帧,BTS 将所接收到的 MR 帧通过 Abis 接口向所属 BSC 发送<sup>[1]</sup>。通过在 Abis 接口上实时侦听并解析 MR 帧,利用 MR 帧结构中所包含的邻区最强 6 个 BTS 的接收电平强度,组成接收电平信号指纹,用以标示某位置的特征值,并对已测量的标准点位置进行向量距离比较,选取向量距离最短的点标识该 MR 的具体位置,从而实现定位,并进一步利用归属同一用户的 MR 帧进行误差消除,从而得到较精准的结果。

在国内外关于无线定位的研究中,通过移动台(MS)测量来自周围 3 个 BTS 的场强值进行定位的方法能够确定 MS 的大致位置,由于受到传输模型和信号时变两个主要因素的影响,定位误差大致在 500 m 左右<sup>[2]</sup>。由于 E-911 的要求,期望得到更精确的 MS 位置,采取 3 个最邻近小区信号达到时间值(TOA),能够进一步将定位精度提高到 300 m 左右。如果采用

信号达到时间差值(TDOA)能够进一步优化移动台定位的方法。然而,TOA/TDOA 的方法需要邻近基站同时向 MS 开通此项服务,大大提高了网络资源开销。

除了上述基本定位方法外,还有一些数据融合的定位技术,即将几种基本的定位方法进行组合使用,以提高定位精度或者扩大服务适用范围。如圆周直线定位方法,通过求解圆和直线交点确定移动台位置坐标,该方法还可根据服务小区或小区扇区信息去掉模糊解,该方法的显著优点是只需要一个基站参与定位,从而降低计算复杂度,但是定位精度较差。而一种采用双曲线的定位方法,测量移动台到两基站之间的距离差,从而得到移动台位于以两个基站为焦点的曲线上,从而通过入射角度,得到移动台位置值,该方法需要至少两个基站就可以完成定位计算,但该算法复杂度较高<sup>[3]</sup>。

以上定位方法的主要问题是无法适应大规模实时定位的需求,并使定位增加了系统的负担,而本文所述方法是基于 Abis 接口的外部采集分析方法,从而能够减少系统开销而达到精准定位的需要。

**基金项目:**国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60572047);国家教育部新世纪人才支持计划(the New Century Excellent Talent Foundation from MOE of China under Grant No.NCET-06-0642);华中科技大学科技创新基金项目(the Innovation Fund of HUST,No.HF-05-043-07-181)。

**作者简介:**王浩(1982-),男,博士生,主要研究方向:移动通信网络技术;王芙蓉(1966-),女,教授,博士生导师,主要研究方向:现代通信技术,移动通信网络等;李可维(1980-),男,博士生,主要研究方向:移动通信网络优化算法;谢旭(1982-),男,博士生,主要研究方向:移动通信网络信令分析。

**收稿日期:**2009-02-07 **修回日期:**2009-03-11

本文所述系统分为前端 MR 采集解析和后台数据比对定位算法两部分。前端数据采集设备从 BSC 与 BTS 间的 Abis 接口中提取 RF5 文件,并提取 MR 帧结构中包含的必要信令信息,后端数据分析处理是将 MR 中所提取数据与所建立的信号指纹数据库进行比较,从而得到较准确的位置信息。

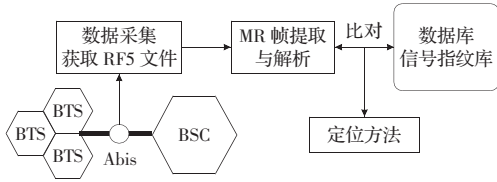


图1 MR帧采集及定位分析系统

在整个定位过程中,只通过 Abis 口中采集出实时的 MR 信令帧,使定位服务不增加移动通信系统的额外开销。

## 2 MR 帧解析过程

MR 帧解析是信号指纹提取的关键步骤和重要难点,需要从 BTS 与 BSC 之间的 Abis 接口中实时提取出 RF5 文件,解析配置后入数据库,用以记录位置信息与信息指纹之间的对应关系。MR 帧结构解析是在 RF5 文件提取解析过程中实现的。图 2 MR 帧的信息提取的报告实例。

|   |             |            |                 |
|---|-------------|------------|-----------------|
| Measurement results                       |             |            |                 |
| RXLEV-FULL-SERVING:43                     |             |            |                 |
| RXLEV-SUB-SERVING:44                      |             |            |                 |
| RXQUAL-FULL-SERVING:1                     |             |            |                 |
| RXQUAL-SUB-SERVING:0                      |             |            |                 |
| BA-USED:1                                 |             |            |                 |
| DTX:Used                                  |             |            |                 |
| Measurement results(MEAS-VALID):Valid     |             |            |                 |
| Number of neighboring cell measurements:6 |             |            |                 |
| NCELL                                     | RXLEV-NCELL | BSIC-NCELL | BCCH-FREQ-NCELL |
| 1   | 42          | 23         | 03              |
| 2   | 40          | 27         | 00              |
| 3   | 32          | 22         | 01              |
| 4   | 32          | 45         | 06              |
| 5   | 29          | 41         | 02              |
| 6   | 25          | 27         | 07              |

图2 MR帧解析实例

图 2 中 RXLEV-NCELL 字段表示该移动台接收到邻近 6 个 BTS 的接收电平,从而作为信号指纹数据库的主要参数。BSIC-NCELL 字段表示该邻近 BTS 的基站色码号,而 BCCH-FREQ-NCELL 字段表示邻区 BTS 的广播控制信道载频号,采用该字段组合能够在较大区域内标识唯一的 BTS。而用于本文所述的定位算法还必须从公共参数表中获取相应的 BTS 的经纬度具体值,以作为信号指纹位置信息的标准量。

## 3 定位方法

基于 MR 帧解析的过程,得到了以下重要参数:

(1)移动台对周围 6 个邻区基站的接收电平值,组成信号指纹向量。

(2)BTS 的唯一标识号,根据 BSIC 和 BCCH 的字段组合,标识相应基站。

(3)BTS 的经纬度,以基站作为定位的标准量,是通过查询公共参数表中获得的。

## 3.1 基于接收电平的多点定位方法

从 MR 帧中获取当前移动台在邻近 6 个基站覆盖下的接收电平后,利用 Okumura-Hata 模型(适用于 150 MHz~2 GHz 的电磁波)进行计算。

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_0 + (44.9 - 60.5 \log h_b) \log d - A_{hm} \quad (1)$$

其中  $L_p$ : 基站到移动台的路径损耗,通过接收电平和 MR 中可获取的基站发射功率相减得到; $f$  为载频频率,我国 GSM 网络主要采用 900 MHz 载波并配合采用 1 800 MHz 载波; $h_b$  为基站天线高度,可在公共参数表中查询; $h_0$  为移动台天线高度,一般工程上认为平地是 1.5 m; $d$  为基站到移动台的距离,即为所求量; $A_{hm}$  为模型修正值。从而将  $\log d_i$  的计算式整理为:

$$\log d_i = \frac{P_{Bsi} - Rxlev_i - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_0 + A_{hm}}{44.9 - 60.5 \log h_b} \quad (2)$$

求出  $d_i$  后通过已知的基站位置,大致确定 MS 所在的区域,此时的定位受到模型参数的影响较大,同时受所测得的接收电平量化误差的影响,大约可达到 550 m 的定位精度,该精度能够适应于一般性的定位服务。

## 3.2 多参考点定位方法

在基于接收电平的多点定位方法中,受到模型参数不准确的影响而使整个定位精度不高。因此,本文考虑在一定范围内设定多个参考点,通常固定的测试移动台,由于参考点的位置是已知的,可以计算出该范围内模型修正值  $A_m$  的估计值,并可实时修正模型参数,从而进一步提高定位精度。

利用多个参考点的联合计算,能够进一步优化模型参数,保留 Hata 模型的形式,将参数待定,计算式为:

$$L_p = K_1 + K_2 \log f - K_3 \log h_0 + (K_4 - K_5 \log h_b) \log d - A_{hm}$$

通过在周围的多个参考点联合计算得到更符合实际的模型参数,从而实现更精确的定位服务。

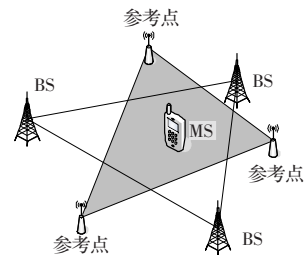


图3 参考点修正模型

如图 3,通过参考点的精确位置和实时测量,可以得到区域内的较准确的模型参数,用以计算出移动台的距离是较准确的,可以达到 150 m 左右的定位精确度,因此,该方法能够得到较准确的结果。

然而,该方法需要布设与 BS 数量相当的参考点,模型修正过程的实时运算量较大。

## 3.3 信号指纹匹配方法

为了克服实时运算和布设固定参考点的问题,而采取分块指纹匹配的方法。

该方法的实现步骤为:

(1)区域划分及参数选择:将整个移动网络覆盖区域分为  $m$  个小方格  $q_1, q_2, \dots, q_m$ ,车载一个测试移动台设备穿过网络覆盖区内部,通过在所经过的小方格内记录的接收电平和位置信息等历史数据,计算并选择 Hata 模型参数。

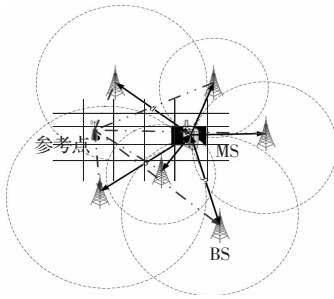


图4 信号指纹匹配方法

(2)建立信号指纹数据库:通过修正模型计算所有小方格中对应的邻区基站接收电平值,并将区域内每个小方格中对应的 $n$ 个邻区基站的接收电平值建立起一个 $n(n \leq 6)$ 维特征向量,如第 $s$ 个方格的特征向量为 $V_s = (sig_{s,1}, sig_{s,2}, \dots, sig_{s,n})$  ( $s \leq m$ )。该特征向量即为方格 $s$ 对应的信号指纹。

(3)比对指纹数据库:当移动台通过覆盖区域内部时,通过采集和解析MR帧,将各邻区基站的接收电平RXLEV-NCCELL组成的向量与信号指纹数据库中的值进行比较。具体方法分为两步:

①计算要求定位的MR的特征向量与数据库中指纹向量的欧几里德距离。设MR的特征向量为 $(sig_{m_1}, sig_{m_2}, \dots, sig_{m_n})$ ,与第 $s$ 个小区的欧氏距离为:

$$d_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (sig_{m_i} - sig_{s,i})^2} \quad (n \leq 6) \quad (3)$$

②求 $d_s$ 值最小的方格,即求

$$s_{\min} = \arg \min \{d_s\} \quad s=1, \dots, m \quad (4)$$

则判定该MR属于方格 $S_{\min}$ 。

该方法不需要布设固定参考点即可大大降低实时的算法复杂度。

表1 三种定位方法的定位精度比较

|        | $P$<br>(<50 m) | $P$<br>(<100 m) | $P$<br>(<150 m) | $P$<br>(<200 m) | $P$<br>(<250 m) | $P$<br>(<300 m) |
|--------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 接收电平定位 | 7%             | 10%             | 12%             | 17%             | 25%             | 35%             |
| 多参考点定位 | 45%            | 58%             | 70%             | 86%             | 92%             | 99%             |
| 指纹匹配定位 | 44%            | 60%             | 69%             | 88%             | 92%             | 99%             |

表2 对指纹特征维度选取的比较

| 指纹向量维度 | $P$<br>(<50 m) | $P$<br>(<100 m) | $P$<br>(<150 m) | $P$<br>(<200 m) | $P$<br>(<250 m) | $P$<br>(<300 m) |
|--------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3      | 23%            | 26%             | 36%             | 56%             | 78%             | 84%             |
| 4      | 40%            | 47%             | 55%             | 77%             | 86%             | 96%             |
| 5      | 40%            | 58%             | 67%             | 86%             | 90%             | 99%             |
| 6      | 44%            | 60%             | 69%             | 88%             | 92%             | 99%             |

## 4 实际测量数据分析

对实地移动网络进行以上三种定位方式的实验验证。实验中,采用了3个测试移动台,10个测试点和多个测试时段,指纹特征具有较好的地理区分度,不同测试时段对指纹的判别影响不大。实验分别比较了一次估计方法、参考点修正方法、信号指纹匹配方法达到标准精确度的概率,结果表明参考点修正方法和指纹匹配的方法由于实现的机理相似,因此定位精度相当,而接收电平基本定位方法具有较大的误差,在500 m精度范围内准确度才能达到70%,而在300 m精度范围内准确度仅为35%,而对于多参考点定位方法和指纹匹配定位方法的70%准确度定位精度约达到150 m。在方案复杂度方面,多参考点定位方法主要存在布设参考点设施的较高成本开销。

另外,实验对指纹特征的维度选取进行了比较,在选取4为维度时具有较好的满意度,而选择更多的电平参考值具有更高的准确度,从而提高定位精度。因此,实验表明了信号指纹定位方法的较高的准确度和可行性。

## 5 结论

提出的MR帧解析及信号指纹定位方法为大规模移动通信网络用户定位服务提供了一种可行性好、准确度高的方案,这种方法适应于网络覆盖分析和优化策略,适合于移动通信网络的故障诊断等重要领域。同时,该方法具有技术前瞻性,适合于移动通信网络新业务的推广以及3G、LTE等具有蜂窝网络结构或Mesh网络结构的网络体系。然而,MR帧解析和信号指纹分析的方法还需要在一定时段内对传输模型进行修正,因此,消除模型时变因素对定位精度的影响是一项主要的技术难点。

## 参考文献:

- [1] ETSI. Digital cellular telecommunications system[S](Phase 2+); radio subsystem synchronization (GSM 05.10 Ver.7.3.0 Rel.1998) [S]. 2000-05.
- [2] 3GPP. Universal mobile telecommunications system (UMTS); User equipment (UE) positioning in universal terrestrial radio access network (UTRAN) [S]. Stage 2 (3GPP TS 25.305 Ver.7.1.0 Rel.7), 2005-09.
- [3] Güvenç I, Sahinoğlu Z, Orlik P. TOA estimation for IR-UWB systems with different transceiver types [J]. IEEE Trans Microwave Theory and Techniques, Special Issue on UWB, 2006, 54(4): 1876-1886.
- [4] Yang L, Giannakis G B. Timing ultra-wideband signals with dirty templates [J]. IEEE Transactions on Communications, 2004-06.
- [5] 刘林. 非视距环境下的无线定位算法及其性能分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [6] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.