

直放站环境下蜂窝网定位算法

谭颖, 田增山

(重庆邮电大学 无线定位与空间测量研究所, 重庆 400065)

摘要: 提供一种直放站环境下对移动台的准确定位算法, 建立了直放站环境下移动终端的定位模型, 给出了定位误差消除算法以提高移动通信系统移动台的定位精度。

关键词: 直放站 定位 基站 移动台 PDU

直放站的基本功能是对射频信号的双向放大, 它对移动台发射的上行信号和基站发射的下行信号进行放大转发。在下行方向接收服务基站的信号, 通过带通滤波器滤除频带外的信号, 放大有用信号后再将信号发送到覆盖区。在上行方向, 对覆盖区内的移动台信号经过类似处理后发射到相应的基站, 从而实现基站与移动台的信号传递和通信。

但是直放站的引入及其信号转发功能, 使得信号的传播路径发生了很大变化, 使传统的定位算法所涉及的参数不能代表其真实的物理意义。传统的直放站环境下定位方法是基于直放站发送辅助定位信息的 TDOA 定位技术: 移动通信网络收到移动台定位请求时, 令直放站发射辅助定位信号 (包括施主直放站或施主基站编号、直放站位置、覆盖范围、转发方向角、天线俯仰角和传输时延等), 移动台根据所接收的直放站发射的辅助定位信号和基站发射的下行信号进行测量, 然后根据测量结果进行位置估计, 实现移动台的定位。在该定位方法中所涉及的直放站除具有通常直放站的功能外, 还需在现有的直放站下行处理通道中增加辅助定位单元。辅助定位单元包括: 通信模块、帧定时恢复模块、控制时序模块和导频调制模块。这种定位技术的缺点是: 需要改动现有的直放站系统, 增加相应的定位辅助单元和通信模块; 在直放站系统中, 需要进行基带处理和同步, 同步和基带处理过程将带来系统的同步误差, 降低系统的定位精度。

1 新方法的定位过程

在直放站环境下, 移动台 MS (Mobile Station) 的通信如图 1 所示。当移动通信系统基站 BS (Base Station) 通信误码率超过一定范围后, 移动台与基站之间的通信切换到移动台与直放站之间的通信, 移动台与基站之间的通信全部由直放站进行放大和转发。

1.1 新定位方法的系统流程

在 CDMA 系统中使用直放站会产生定时时延和信号延时扩散, 如果时延较大, 将使移动通信系统导频码的相位发生变化, 产生掉话等问题。需要调整施主基站

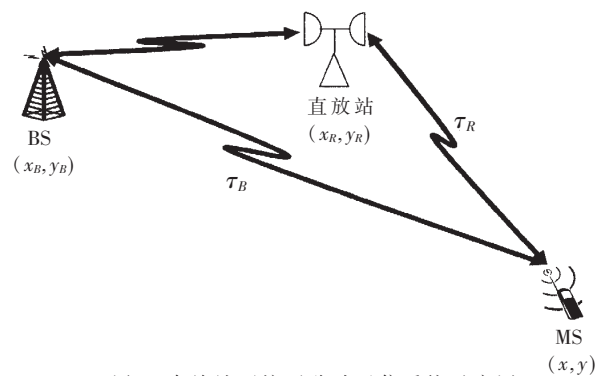


图 1 直放站环境下移动通信系统示意图

的接入信道搜索窗口宽度和反向业务信道搜索窗口宽度, 激活导引信道及搜索窗口宽度。同时应在相邻小区的邻区列表中增加该施主小区, 并适当调整相邻导引信道及搜索窗口宽度。

对于上行信道的信号在通过直放站转发以后, 移动通信系统服务基站 BS 将根据上行信号的搜索窗口参数确定: 信号是否通过直放站发送; 确定直放站的相应参数 (如经纬度、时间延迟等其它控制参数)。

系统定位流程图如图 2 所示。在确定移动台处在直放站覆盖区后, 如果移动台申请定位请求或者其他对该移动台有定位请求并得到确认后, 系统即让 MS 的服务基站 BS 与直放站进行参数估计和身份识别, 并将测量结果汇报给 PDU (Position Determination Unit)。PDU 向服务基站所在的邻近基站发送对移动台信号检测的指令。为实现对弱目标的信号检测, 该信号处理的数据长度远远大于传统通信中相关估计数据长度。当其他邻近基站将检测数据的结果 (包括时间延迟、信噪比等) 汇报给 PDU 时, 系统可以根据汇报的参数确定它们的信号是否由直放站转发, 根据具体情况进行定位处理。对图 2 中所示的定位流程说明如下:

- (1) 移动通信网收到移动台定位请求或者定位服务中心的定位业务请求;
- (2) 位置定位单元 PDU 借助于移动通信网络向移动

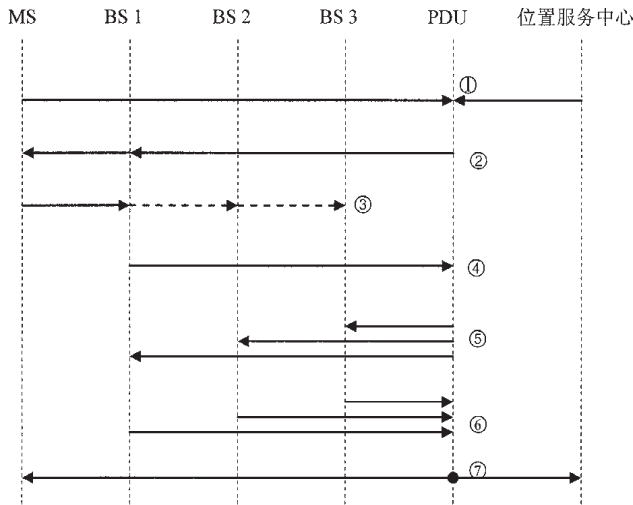


图2 系统定位流程图

终端所在的服务基站发送目标身份确认请求;服务基站接收到请求后,向移动台发送下行信号(如寻呼等);

(3)移动台发送相应的响应信号(如反向接入信号等);移动台 MS 在上行信道发射信号,其中 BS1 为移动台的服务基站,BS2、BS3 为邻近基站;

(4)服务基站测量到相应用户信息并解码确定为定位对象,并将结果汇报到 PDU;

(5)PDU 通过网络向服务基站和邻近的基站发送定位信息;

(6)基站进行参数估计,在数据处理时为保证移动台信号估计精度并被检测得到,则处理数据的长度较长。各基站将估计的相关信息汇报到 PDU,包括 TOA、SNR、SOA(Strength of Arrival)等;

(7)PDU 进行位置的信号传播途径的判别和算法选取,实现定位功能,并将定位结果汇报给移动台或者位置服务中心。

在上述流程的第⑦步中算法主要分两种类型:直放站信号传播(BS1、BS2)和非直放站信号传播(BS3)。

1.2 直放站环境下的定位模型及定位算法

在基站将相应的参数汇报给 PDU 后,PDU 将根据信号检测时搜寻窗来判断接收信号的传播方式为直放站环境还是非直放站环境。根据传播方式建立的系统定位模型如图 3 所示。

(1) 建立移动台 MS 与基站 BS1 之间的距离观测方程(直放站信号传播):

$$\sqrt{(x-x_{R1})^2+(y-y_{R1})^2} + \sqrt{(x_{R1}-x_{B1})^2+(y_{R1}-y_{B1})^2} = \tau_{R1} \cdot C \quad (1)$$

式(1)中: x, y :移动台地理坐标,待求; x_{R1}, y_{R1} :直放站 1 的地理坐标,为已知值; x_{B1}, y_{B1} :蜂窝网服务基站 BS1 的地理坐标,为已知值; τ_{R1} :基站 BS1 测量的移动台信号传播时间延迟。且 $\tau_{R1} = \tau_{MR1} + \tau_{R1B1} + \tau_{eM} + \tau_{eR1} + \tau_{eB1} + \tau_{eT1}$

其中: τ_{MR1} 为移动台到直放站 1 距离时间延迟; τ_{R1B1} 为直放站到服务基站 BS1 之间的距离延迟; τ_{eM} 为移动台

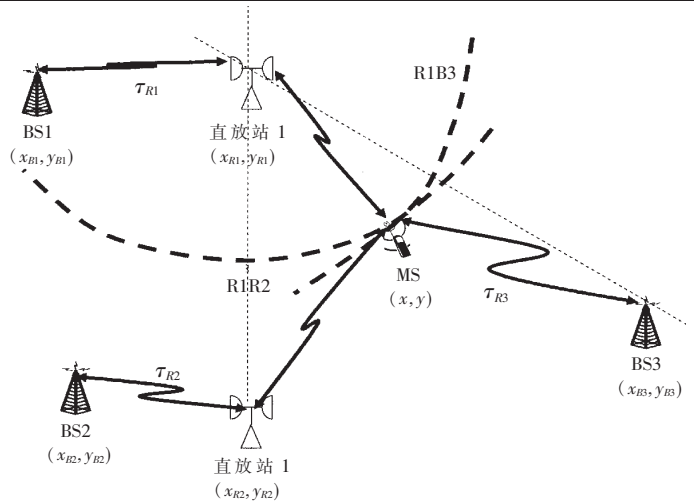


图3 系统定位模型图

的时钟误差,该误差很大,可以通过差分的方式消除; τ_{eR1} 为直放站 1 的系统误差,该误差非常大,可通过校准获取时间延迟参数; τ_{eB1} 为蜂窝网基站 BS1 的误差,包括同步误差,电信号延迟误差;同步误差采用 GPS 授时可提高到 20ns,可忽略不计,电信号延迟可以通过校准获取; τ_{eT1} 为信号的传播误差,主要为移动台到直放站 1 的信号传播误差,包括多径和 NLOS(Non-Line-of-Sight)误差,该误差只能使用专门的算法来抑制。

(2) 建立移动台 MS 与基站 BS2 之间的距离观测方程(直放站信号传播):

$$\sqrt{(x-x_{R2})^2+(y-y_{R2})^2} + \sqrt{(x_{R2}-x_{B2})^2+(y_{R2}-y_{B2})^2} = \tau_{R2} \cdot C \quad (2)$$

式(2)中: x, y :移动台地理坐标,待求; x_{R2}, y_{R2} :直放站 2 的地理坐标,为已知值; x_{B2}, y_{B2} :基站 BS2 的地理坐标,为已知值; τ_{R2} :基站 BS2 测量的移动台信号传播时间延迟;且 $\tau_{R2} = \tau_{MR2} + \tau_{R2B2} + \tau_{eM} + \tau_{eR2} + \tau_{eB2} + \tau_{eT2}$

其中:各参量的含义同前。

(3) 建立移动台 MS 与基站 BS3 之间的距离观测方程(非直放站信号传播):

$$\sqrt{(x-x_{B3})^2+(y-y_{B3})^2} = \tau_{R3} \cdot C \quad (3)$$

式(3)中: x, y :移动台地理坐标,待求; x_{B3}, y_{B3} :基站 BS2 的地理坐标,为已知值; τ_{R3} :基站 BS3 测量的移动台信号传播时间延迟。且 $\tau_{R3} = \tau_{MR3} + \tau_{eM} + \tau_{eB3} + \tau_{eT3}$

其中:各参量的含义同前。

(4) 建立 TDOA 双曲线观测方程。将公式(1)与公式(2)相减得公式(4):

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x-x_{R1})^2+(y-y_{R1})^2} + \sqrt{(x_{R1}-x_{B1})^2+(y_{R1}-y_{B1})^2} \\ & - \sqrt{(x-x_{R2})^2+(y-y_{R2})^2} - \sqrt{(x_{R1}-x_{B2})^2+(y_{R2}-y_{B2})^2} \\ & = (\tau_{R1} - \tau_{R2}) \cdot C \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } & \sqrt{(x-x_{R1})^2+(y-y_{R1})^2} - \sqrt{(x-x_{R2})^2+(y-y_{R2})^2} \\ & = \sqrt{(x_{R1}-x_{B2})^2+(y_{R2}-y_{B2})^2} - \sqrt{(x_{R1}-x_{B1})^2+(y_{R1}-y_{B1})^2} \\ & + (\tau_{R1} - \tau_{R2}) \cdot C \end{aligned} \quad (5)$$

分析公式(5)可知,它描述的是以直放站 1 和直放站

2 为焦点的双曲线。分析其误差源,在误差源中除了信号传播误差外,其他误差通过差分或者校准的方法几乎可以全部消除,误差很小。系统的主要误差来源于多径和 NLOS,该误差可以通过专门的算法进行部分抑制。

将公式(1)和公式(3)相减得:

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x-x_{R1})^2+(y-y_{R1})^2} + \sqrt{(x_{R1}-x_{B1})^2+(y_{R1}-y_{B1})^2} \\ & - \sqrt{(x-x_{B3})^2+(y-y_{B3})^2} \\ & = (\tau_{R1}-\tau_{R3}) \cdot C \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } & \sqrt{(x-x_{R1})^2+(y-y_{R1})^2} - \sqrt{(x-x_{B3})^2+(y-y_{B3})^2} \\ & = -\sqrt{(x_{R1}-x_{B1})^2+(y_{R1}-y_{B1})^2} + (\tau_{R1}-\tau_{R3}) \cdot C \end{aligned} \quad (7)$$

分析公式(7)可知,它描述的是以直放站 1 和基站 3 为焦点的双曲线。分析其误差源,系统的主要误差来源于多径和 NLOS。

(5) 位置结算,即根据公式(5)和公式(7)采用最小二乘法求解移动台坐标。

2 系统仿真

设在一个 100m×100m 的区域中,直放站 1 的坐标为 (1 000,1 000),直放站 2 的坐标为 (5 000,9 000),基站 3 的坐标为 (9 000,1 000)(单位:米)。使用最小二乘法,门限值为 10^{-5} ,迭代次数为 50,样点数为 2 500 个。当移动台到基站或直放站的距离小于 2 000 米时,信号传播误差为 350ns^{[4][5]};当移动台到基站或直放站的距离小于 5 000m 大于 2 000m,信号传播误差为 500ns^{[4][5]};当移动台到基站或直放站的距离大于 5 000m 时,信号传播误差为 850ns^{[4][5]}。信号传播误差包括:基站测量的移动台信号传播时间延迟、直放站系统误差、蜂窝网基站误差(同步误差,点信号延时误差)、信号传播误差(NLOS,多径误差)。区域内各点的定位精度如图 4 所示。结果表明使用本文提出的新算法可以达到 99.763 5 米的定位精度。在靠近直放站和基站的区域定位精度比较好,在远离直放站和基站的区域定位精度相对较差。水平方向和垂直方向的定位误差分别为 124.120 4m 和 126.472 2m,如图 5 和图 6 所示。

3 新方法系统评估

系统的继承性:不改动系统的硬件和系统定位流程,仅仅需要判别信号的传播途径和改动系统定位模型即可完成系统的定位。

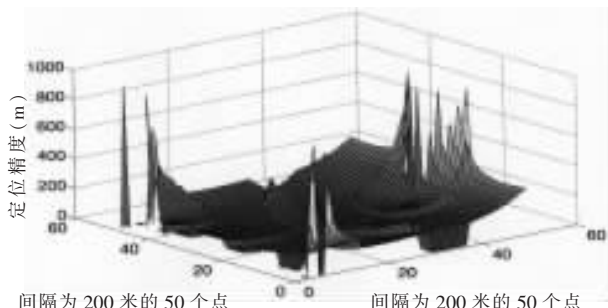


图 4 在 10 公里的区域内定位精度三维示意图

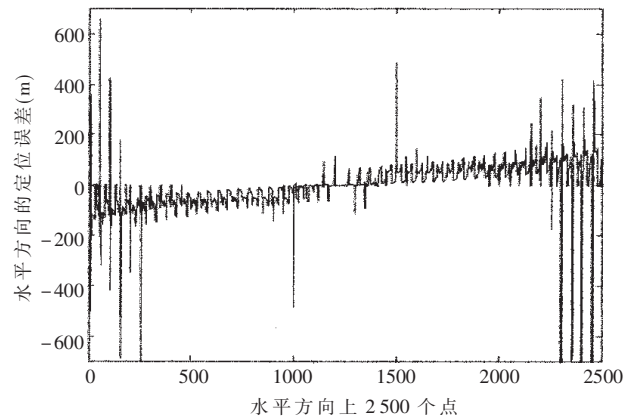


图 5 水平方向定位误差示意图

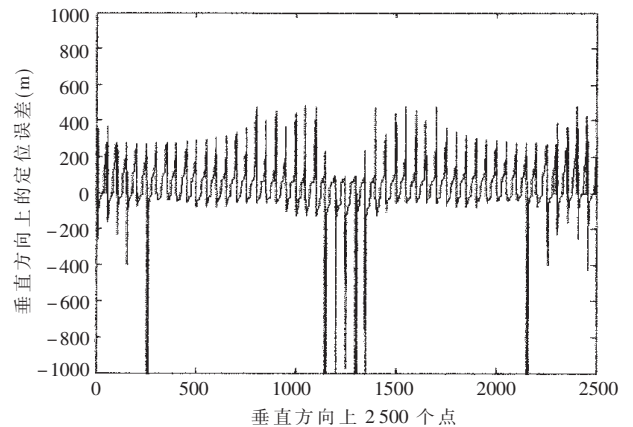


图 6 垂直方向定位误差示意图

系统的性能:该方法采用差分方法消除了系统的大部分误差仅仅保留信号的传播误差,所以信号的定位精度高。

定位实时性:相比于其他方法该系统并没有增加定位流程和算法的复杂度,所以该方法保证了系统的实时性。

参考文献

- [1] LIU I M, AZIZ A, WONG D F. Meeting delay constraints in DSM by minimal repeater insertion. Proceedings 27-30 March, 2000:436-440.
- [2] RATHINAVELU P, SCHAPELER G, WEBER A. UMTS coverage and capacity enhancement using repeaters and remote RF heads. In: 20th International Conference on Volume 2, April, 2006:400-404.
- [3] CHAN Yiu Tong, TSUI W Y, SO H C, et al. Time-of-arrival based localization under NLOS conditions. IEEE Transactions on Volume 55, Issue 1, Jan.2006:17-24.
- [4] LAY K T, CHAO W K. Mobile positioning based on TOA/TDOA measurements with NLOS error reduction. In: Proceedings of 2005 International Symposium on 13-16, Dec. 2005:545-548.

(收稿日期:2006-09-13)