基于 TD-SCDMA 系统的单基站定位算法

钱 锟，杨育红
（解放军信息工程大学 信息工程学院，河南 郑州 450002）

摘 要： TD-SCDMA 系统采用智能天线技术使基站（Node B）能够很方便地获得移动终端（UE）的到达角度估计，即 AOA（Angle Of Arrival）。同时 UE 在建立上行同步和进行小区切换时，Node B 可以通过 UE 提交的测量信息计算出 Node B 到 UE 的距离。在已知 UE 到 Node B 的距离和方向后，只需一个 Node B 就可以对 UE 进行定位。

关键词： 到达角度 到达时间 Node B 随机接入

TD-SCDMA 作为中国自主知识产权的三代移动通信国际标准，采用了智能天线、TDD、上行同步、多用户联合检测等多项技术，而这些技术在 TD-SCDMA 的特色业务开展方面，尤其是 UE 精确定位业务的开展方面显示了极强的优势。

在 TD-SCDMA 系统中，基站采用了 8 阵元的智能天线来估计用户的角度信息（AOA），还能利用上行同步信道测量 TOA。这样单个服务基站便能利用已有的信息实现移动台的位置估计。在无需添加和改动任何设备的情况下，能够为用户提供一种高性价比、高精度的定位服务。

本文通过分析 TD-SCDMA 系统上行同步过程，并结合智能天线技术，对混合 TOA/AOA 单基站定位模型在 LOS 环境下的性能进行了仿真和分析。

1 用于定位的时间测量

TD-SCDMA 系统在建立无线资源（RR）连接的过程中，基站可以测量从 UE 到基站的电波传输时间，进而估计出 UE 到 Node B 的距离。通过智能天线技术，基站还可获得 UE 到 Node B 的 AOA。知道距离和方位后就可以估计出 UE 的位置。下面分别介绍上行同步建立过程和 UE 到 Node B 距离的估计。

1.1 上行同步的建立

TD-SCDMA 系统是一个同步系统[1]，对上/下行同步有比较严格的要求，不同用户的数据都要以基站的时间为基准，在预定的时刻到达 Node B。这样可以使正交扩频码的各个码道在解扩时完全正交，相互间不会产生多址干扰。而一旦在一个子帧的同步时隙同步丢失，将给系统造成更大干扰。因此，可靠的基站间、基站与 UE 间的同步对 TD-SCDMA 系统十分重要。上行同步建立过程如图 1 所示。

UE 在空闲模式下，已经与 Node B 建立了下行同步。但此时 UE 并不知道距 Node B 的距离，也不能准确地知道发送“RRC 连接请求”消息时所需的发射功率和定时提前量。若 UE 直接在常规时隙内 PRACH 信道上发送连接请求，则这个非同步的信号将对同时隙和相邻时隙的其他用户造成极强的干扰。因此，在 TD-SCDMA 系统中专门定义了一个时隙（UpPTS）用于上行同步和初始功率的调整。TD-SCDMA 系统中物理层的帧结构如图 2 所示。

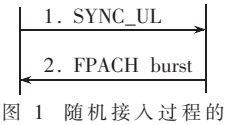

图 1 随机接入过程的上行同步建立过程

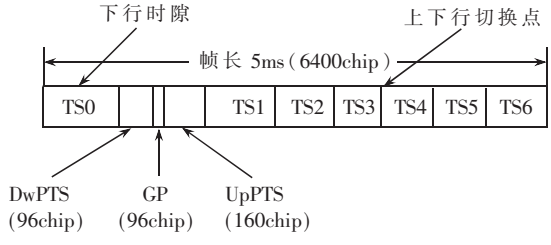

图 2 TD-SCDMA 物理帧结构图

随机接入过程始于 UE 在上行导引信道（UpPCH）上发送上行同步码 SYNC_UL，如图 1 所示。UE 发出 SYNC_UL 后，从下一子帧开始的连续 4 个子帧内在 FPACH 物理信道上等待接收 FPACH burst（最长等待时间 WT 由系统广播，缺省值为 20 毫秒或 4 个子帧），以检测是否收到对应自己的物理信息。若接下来的 4 个子帧未收到自己的物理信息消息，且 SYNC_UL 突发的重传次数未超过 $M+1$ 次（M 值由系统信息广播决定），则 UE 重复以上过程。若 SYNC_UL 突发达到网络允许的最大重传次数，UE 将放弃立即指派过程，返回到空闲模式。若 UE 在规定的时间内收到物理信息消息，则上行同步过程建立完成。

1.2 UE 到 Node B 距离的估计

网络端在 UpPCH 收到 UE 发送的 SYNC_UL 信号

后，估计出接收功率和时间，然后通过 FPACH 信道向 UE 发送反馈信息，调整下次发射时的发射功率和发射时间，以建立上行同步。

网络端向 UE 发送的反馈信息中有一个同步偏移量参数 $UpPCH_{POS}$（单位为 1/8 Chips），用来通知 UE 网络收到 SYNC_UL 信号的时延[2][5]，如图 3 所示。同步偏移量可表示为：

$$UpPCH_{POS}=UpPTS_{Rxpath}-UpPTS_{TS} \quad (1)$$

其中：

$UpPTS_{Rxpath}$：Node B 中接收到用于上行链路同步的 SYNC_UL 的时刻。

$UpPTS_{TS}$：Node B 中 DwPTS 结束前的两个 Symbols 的时刻。

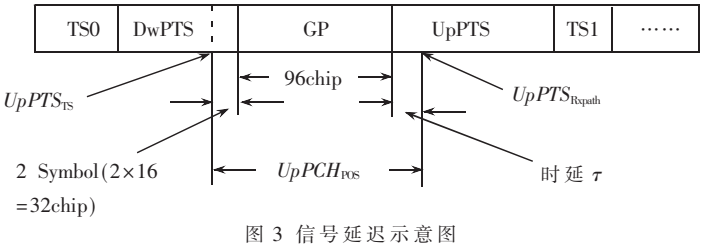

图 3 信号延迟示意图

由图 3 可以得到：

$$UpPCH_{POS}=GP+2Symbol+\tau \quad (2)$$

即：$\tau=UpPCH_{POS}\times(1/8)-GP-2Symbol$ (3)

其中：GP=96chip

2Symbol=2×16=32chip

则式(3)可表示为：

$$\tau=UpPTS_{POS}\times(1/8)-96chip-32chip \quad (4)$$

在 TD-SCDMA 系统中，1chip=0.781μs，那么 UE 到 Node B 的传播时延为：

$$\tau_t=\tau\times0.781\mu s \quad (5)$$

电波在空中的传播速度为 $c=3\times10^8$m/s，由式(5)便可以计算出 UE 到 Node B 之间的距离为：

$$d=c\times\tau_t \quad (6)$$

由上面的推导可以看出利用了 TD-SCDMA 系统中的随机接入过程，可以方便地计算出 MS 与基站之间的距离。

2 混合 TOA/AOA 单基站定位

2.1 定位模型

根据前面的分析，Node B 通过 UE 发送的 SYNC_UL 信号计算出同步偏移量参数，进而可以计算出 UE 到 Node B 的距离 d。由此可以确定一个以 Node B 为圆心，以 d 为半径的圆，UE 就在这个圆上。

由文献[3]可知，利用智能天线技术还可以获得 UE 到达 Node B 的方位角，从而得到图 4 所示的 TOA/AOA 单站定位模型。典型的宏小区环境中，假设基站天线架设的位置较高，其高度远高于周围的散射物，且附近没有散射体产生的多径信号，散射体分布在 UE 周围的一个较小的圆盘范围内，UE 到达基站的信号的角度扩展较小。

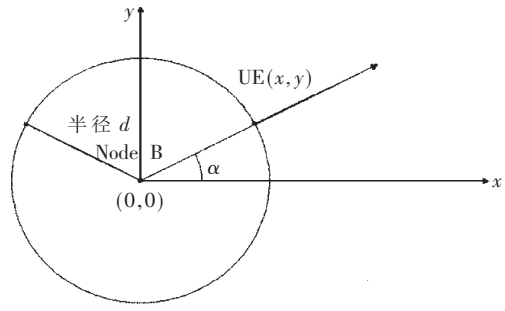

图 4 TOA/AOA 单站定位模型图

其模型(GBSBCM)可由图 5 表示，其中 θ_{bw} 表示角度扩展，R 表示圆盘半径，α 表示 AOA。文献[4]的测量报告显示，小区半径为 1km 的情形下，AOA 服从高斯分布，角度扩展的典型值约为 2°~6°。下面在宏小区环境下，针对该定位模型作具体分析与仿真验证。

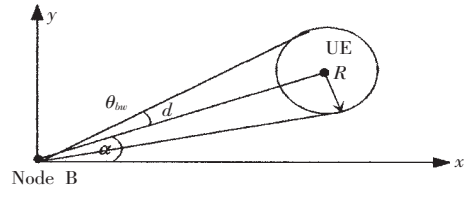

图 5 宏小区圆盘散射模型

2.2 闭式解

由图 5 可以得到方程组：

$$\begin{cases}\dfrac{y}{x}=\tan\alpha\\ x^2+y^2=(c\cdot\tau)^2\end{cases} \quad (7)$$

式中，α 表示坐标变换后的 AOA，τ 表示信号从 UE 到 Node B 的传播时间，c 为电波的传播速度。

由(7)式可以得到 UE 坐标的闭式解：

$$\begin{cases}x=c\cdot\tau\cdot\cos\alpha\\ y=c\cdot\tau\cdot\sin\alpha\end{cases} \quad (8)$$

3 仿真结果分析

为了评估算法的有效性，用计算机对算法进行了仿真研究。根据 GBSBCM 模型，作以下假设：随机噪声引起的 TOA、AOA 测量误差服从零均值标准差分别为 $c\cdot\sigma_t$、σ_α 的高斯分布(下面图 6~图 9 中用 SigA、SigD 分别表示 σ_α、$c\cdot\sigma_t$)。

在 LOS 情况下，设基站的坐标为 $(x1,y1)=(0,0)$，移动台坐标为 $(x0,y0)=(500,866)$，$\alpha=\alpha^0+n_\alpha$，其中，α^0 为 AOA 的真实值，n_α 为测量误差，$\alpha^0=60°$，$\sigma_\alpha=2^0,3^0,4^0,5^0$[4]。设 $c\cdot\sigma_t$ 的取值分别为 10m、20m、30m、40m。经过 10000 次仿真得出其性能统计结果如图 6、7、8 所示。

图 6~图 8 的结果表明，LOS 环境中，在上述条件下能够以 90%以上的概率达到 0.15 的相对定位精度（定位误差/移动台到基站的距离）。可以满足 FCC 规定定位

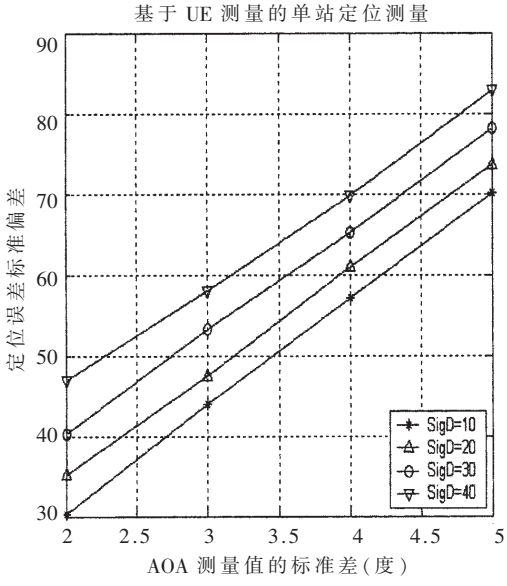

图 6 混合 TOA/AOA 单基站定位误差标准差

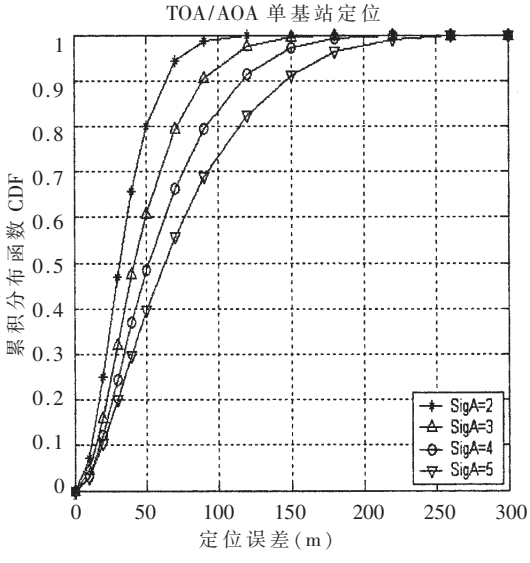

图 7 $c\cdot\sigma_t$=20m 时的定位性能统计

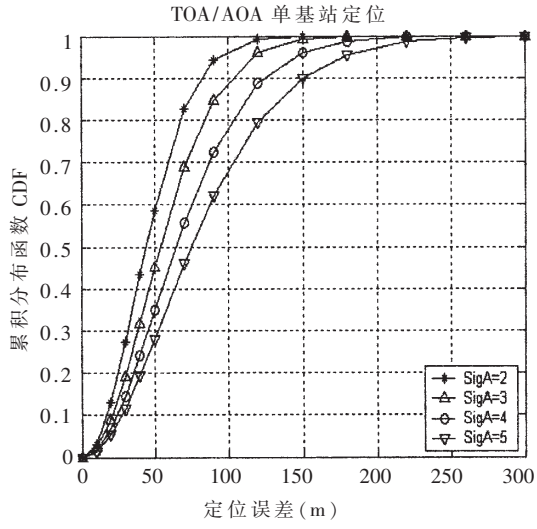

图 8 $c\cdot\sigma_t$=40m 时的定位性能统计

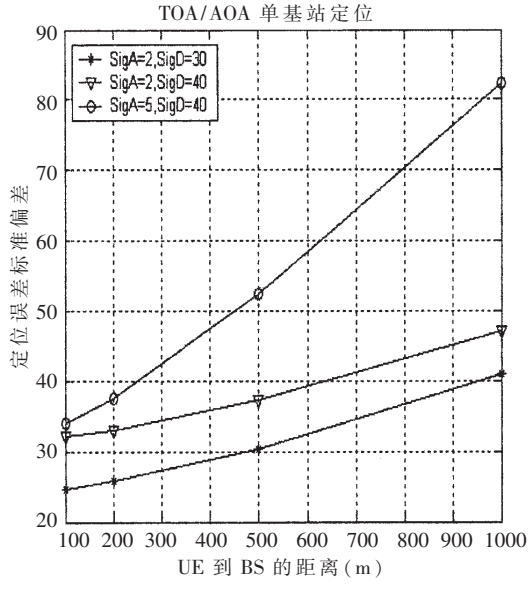

图 9 定位误差标准差与 UE 到 Node B 距离关系图

概率 67%、均方误差为 125 米的精度要求。

令 SigA =2、SigD =30,SigA =2、SigD =40 和 SigA =5、SigD=40,分别在这两种情况下,计算当 UE 到 Node B 的距离为 100m,200m,500m,1000m 时的定位误差。此时 UE 对应的坐标分别为 (50,86.6),(100,173.2),(250,433),(500,866),结果如图 9 所示。

从图 9 中可以看出,该模型的定位误差标准差(RMSE)是与 UE 到 Node B 的距离 d 有关的,RMSE 随着 d 的增大而增大。在 SigA 相同的情况下,d 较小时,定位误差受 TOA 测量误差的影响较大;在 SigD 相同的情况下,d 较大时,定位误差受 AOA 测量误差的影响较大。

通过以上分析可以看出,在 LOS 环境下,此定位模型具有较好的定位性能,可以满足应用要求。但在实际定位应用中,非视距(NLOS)传播效应对定位精度的影响较大。在 NLOS 环境下,该模型的性能分析及抗 NLOS 算法的研究将在后续的工作中渐次深入。

参考文献

[1] 李小文.TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.

[2] 3GPP TS 25.225. Physical layer; Measurements(TDD)

[3] LIBERTI J C. RAPPAPORT T S. 无线通信中的智能天线.北京:机械工业出版社,2002.

[4] 杨大成.移动传播环境.北京:机械工业出版社, 2003.

[5] 罗一静.TD-SCDMA 系统中移动台定位的一种方法.现代电子技术,2003,(23).

[6] 张志涌.精通 MATLAB6.5 版.北京:北京航空航天大学出版社,2003.

(收稿日期:2006-08-27)