



Small Cell 中移动性增强方案研究现状分析^{*}

王东军,符媛柯,唐 伦,陈前斌

(重庆邮电大学移动通信重点实验室 重庆 400065)

摘 要:小蜂窝网络是由比传统宏蜂窝基站发射功率更小的低功率节点形成的多层蜂窝网络。作为 LTE-Advanced 技术研究的重要内容之一,小蜂窝的发展越来越受到业界的关注。分析评估了移动性管理中多种移动状态估计(MSE)方案的性能指标,同时分析评估了蜂窝切换中所涉及的切换指令的保护方案性能以及蜂窝切换方案性能,最后对小蜂窝网络移动性管理面临的挑战和未来的研究方向做出总结。

关键词:小蜂窝;LTE-Advanced;移动性管理;移动状态估计;切换

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.01.012

Research and Analysis of Mobility Enhancement in Small Cell

Wang Dongjun, Fu Yuanke, Tang Lun, Chen Qianbin

(Key Lab of Mobile Communications Technology, Chongqing University of Posts and Communications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Small cell network is a multi-layer cell network formed by low-power nodes whose base stations transmit power is lower than conventional macrocell base stations. More and more industry attention is paid to the development of small cell which is considered as an important part of LTE-Advanced technology study. The performance of a variety of mobile state estimation scheme in mobility management was analyzed and evaluated and the same work was done on the protection scheme of the switching instruction involved in a cellular switch. A summary was made about challenge and future research directions of small cell mobility management finally.

Key words: small cell, LTE-Advanced, mobility enhancement, mobility state estimation, handover

1 引言

Small Cell(小蜂窝)网络中,网络部署模型为一个宏蜂窝(Macrocell)中叠加多个小蜂窝,不同的小蜂窝大小不同,同时,不同的宏蜂窝中,小蜂窝的密度也不一定相同。Small Cell 的移动性增强方案的目标之一是在切换失败率和乒乓切换方面,提高异构网络的全局切换性能。参考文献[1]总结了许多已经提出的增强型方案,其中最主要的一类增强型方案依赖于用户设备(user equipment, UE)的移动性状态。已经召开的 RAN2 会议上展示了基于速度的方

案将会很大程度地提高异构网络的移动性性能^[2]。这类增强型方案中,性能增强的关键与根本是如何准确而又及时地获取 UE 的移动性状态。为此,本文分析了几种不同的 UE 移动性状态估计方案,并根据方案评估性能指标对各个方案进行分析比较。

研究表明,切换指令的接收失败与否是影响移动性性能好坏的主要因素^[3]。因此,如何在 Small Cell 环境中有效地传输切换指令,提高切换指令的顽健性成为业界关注的焦点。使用 ABS(almost black subframe,近乎空白子帧)机制对切换指令进行保护、使用多小区广播机制增加 UE 对

^{*} 国家科技重大专项基金资助项目(No.2014ZX03003010-004),重庆市自然科学基金资助项目(No.cstc2012jjA40049)



切换指令的正确接收概率等方案相继被提出。

当切换指令能够正确到达 UE 并触发时, 切换进程的实现就显得尤为重要。如何根据不同的网络部署环境、不同的参数设置对切换相关参数进行优化调整, 最大程度地降低切换失败率成为各种小区切换方案的终极目标。本文综合分析了各种最新的切换方案, 并对各个方案性能指标进行评估。最后, 本文对 Small Cell 中移动性管理面临的挑战和机遇进行展望, 提出了可行的研究方向。

2 移动状态估计方案

UE 的移动状态对于切换性能有很大的影响, 基于速度的切换方案取决于速度估计的精确性, 当速度估计出错时, 将会严重影响切换性能。

2.1 基于 Picocell 大小和位置的 UE 速度估计

为了在 Small Cell 网络中实现移动状态估计, 除了 Picocell 的大小之外, Picocell 的位置也会非常有用。当 UE 通过一个覆盖范围很小且相互邻接的 Picocell 时, 可以认为 Picocell 的位置就是 UE 的位置^[4]。在一个给定的时间内, UE 通过不同的 Picocell, 这些 Picocell 之间的累积距离可以近似认为是 UE 穿行的距离, 如图 1 所示。

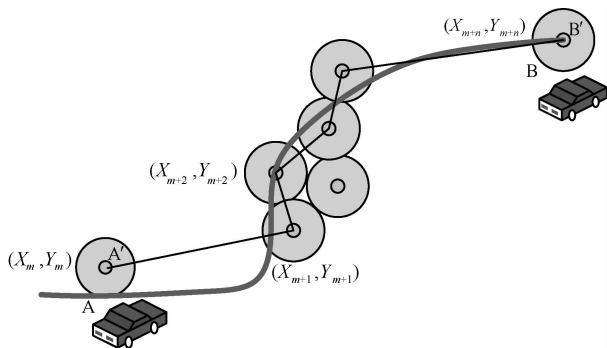


图 1 估计 UE 在 Picocell 间穿行的距离

为了增强性能, Picocell 的位置信息应该通过广播或者专用信令传递到 UE 侧。另外, Picocell 大小或者功率等可能比 Picocell 位置更有用的信息也是需要的。

2.2 增强型小区位置移动状态估计

当 UE 的移动状态用来调整触发时间 (time to trigger, TTT) 时, 可以轻松地从 UE 发送测量报告到 eNode B 来增强其切换性能。对于已知小区大小和位置的移动状态估计来说, 当 UE 朝着小区的移动或者只是简单经过小区的边缘时, UE 在小区中实际穿行的距离没有被严格考虑。

本文提出用 RSRP (reference signal received power, 参考

信号接收功率) 标识 UE 在小区中穿行的距离。图 2 展示了两条 UE 轨迹: A 和 B。假设每个灰度代表那个区域的 RSRP^[5]。一般来说, 由于传播损耗的影响, 深灰色的 RSRP > 浅灰色 RSRP > 灰色 RSRP。算法的思想是在小区中获得每个 UE 经过小区时的最大 RSRP 和最小 RSRP, 这样即可清晰地判断出 UE 实际在小区中穿行的距离。在图 2 中, UE A 将会有有一个 RSRP_{green}-RSRP_{orange} 值, UE B 将会有有一个接近 0 的值。

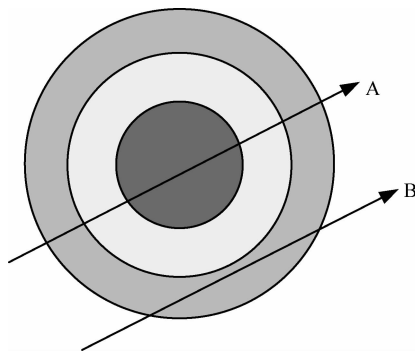


图 2 两个用户在小区中的轨迹

图 3 展示了一系列来自于 UE 切换的实例。UE 将会在驻留在每个小区的时间段内存储最大的 RSRP 和最小的 RSRP。在评估窗中, RSRP 的差分加权将会决定 UE 的速度。

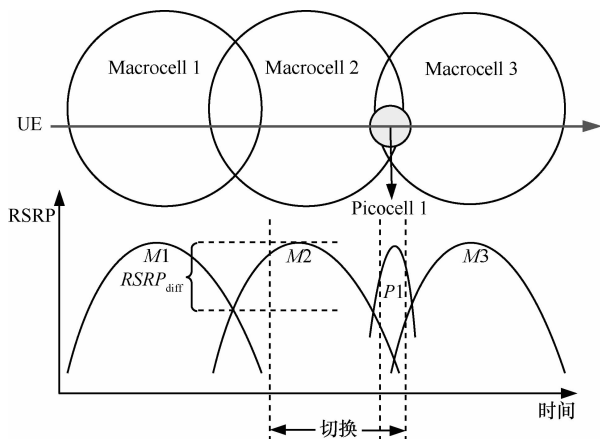


图 3 基于 RSRP 的切换实例

差分 RSRP MSE (mobility state estimation, 移动状态估计) 方案主要采用在相邻采样时间点的不同 RSRP 的差值对 UE 的移动速度进行估计。为了确定 UE 的移动性, 首先计算 RSRP 的差分, 使用如下计算式, 并且与网络为每个 UE 移动性状态设定的门限值进行比较。

$$RSRP \text{ diff sum} = \sum_{\text{cell } i=1}^n (RSRP_{\text{cell } i \text{ max}} - RSRP_{\text{cell } i \text{ min}})$$

其中, n 是在评估时间内, UE 连接的或者小区重选的总的小区数目; $RSRP_{cell\ i\ max}$ 为小区 i 中在 UE 连接或者重选时间内的最大 RSRP; $RSRP_{cell\ i\ min}$ 为小区 i 中在 UE 连接或者重选时间内的最小 RSRP。

通过为 UE 移动状态设定门限, 定义 UE 的状态, 具体如下:

- 如果 $RSRP\ diff\ sum \leq \alpha$, UE 处于低速移动状态;
- 如果 $\alpha \leq RSRP\ diff\ sum \leq \beta$, UE 处于中速移动状态;
- 如果 $RSRP\ diff\ sum \geq \beta$, UE 处于高速移动状态。

α 和 β 可以由网络设定, 并且通过高层信令传输。

差分 RSRP 方案具备的优缺点如下。

- 优点: 差分 RSRP MSE CDF (cumulative distribution function, 累积分布函数) 与 UE 的速度关系曲线明朗, 差分 RSRP MSE 在决定 UE 移动状态的时候能够达到很高的精度, 在切换失败率性能方面比其他部署方案要高得多。
- 缺点: 差分 RSRP MSE 与 R8 MSE 方案相比, StoS (short time of stay, 短驻留时间) 率有所增加。

2.3 基于三角测量术的 UE 状态估计

观察到达时间差 (OTDOA) 是一个网络侧执行的三角测量术方法, 是一个基于网络的位置估计方法, 通过在一个给定的时间内, 采用多个位置的采样估计值实现状态估计。基于三角测量术的 UE 位置和速度的估计如图 4 所示。

如果一个 UE 获知邻居 Macrocell 和 Picocell 的位置信息, 同时获知邻小区对 UE 的测量信息, UE 将会有能力产生一个三角测量术来估计 UE 位置和速度。其中, OWD (one way delay) 表示 UE 与基站间的单程时延。

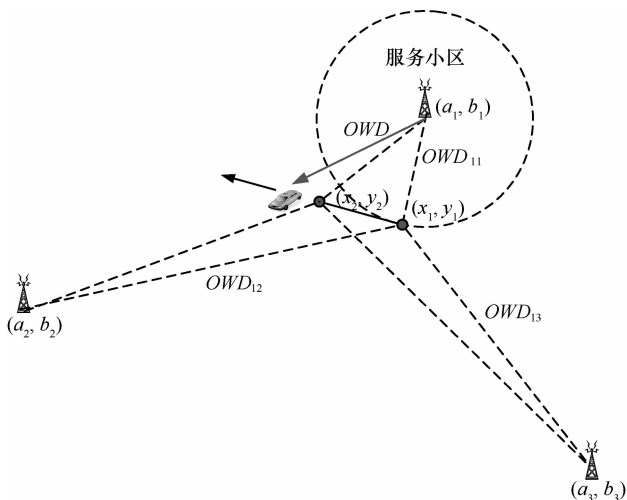


图 4 基于三边测量术的 UE 位置和速度的估计

2.4 基于 UE 和基于网络的移动状态估计

进行 UE 移动性状态估计的目的是适应一定的切换相关参数, 如 TTT, 因为一些参数的最优值依赖于 UE 的移动性。由于经常更新 UE 的配置参数可能牵涉大量的信令负载。因此, 如果单侧 (eNode B 或者 UE) 能够单独完成速度估计, 然后将速度估计结果传递给另外一侧, 不失为一种更好的解决方案^[6]。

2.4.1 基于 UE 的移动状态估计

当 UE 处于空闲模式时, 状态检测准则依赖于在给定的时间段内小区重选的数目。而在连接模式下, 状态检测则依赖于切换数目。

当小区大小被假设为相似的时候, 很容易为 MSE 函数选择一个适当的小区重选数目或者切换数目门限来区分 UE 移动状态。然而, 当 UE 以同样的速度进行移动的时候, 可能会根据它们选择的路由策略获得不同的小区重选数目和切换数目, 如图 5 所示。因此, 很难找到一组适当的参数门限值使得它能精确地工作在不同的异构网络路由环境中。这种情况下, 需要其他方案的支持来确定 UE 的基本路由环境, 如 RSRP 方案。

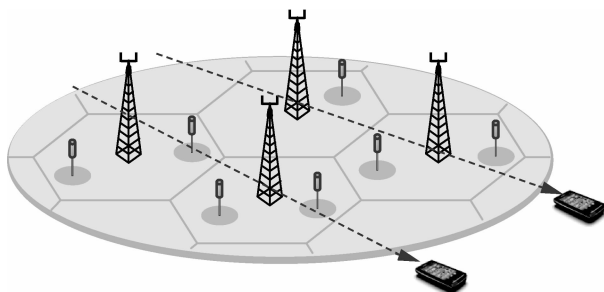


图 5 异构网络部署环境对 UE 路由选择的影响

2.4.2 基于网络的移动状态估计

对于网络来说, 能够获知 UE 移动状态将会有很大的效益。网络更倾向于将高速 UE 束缚在 Macrocell 中, 阻止其向 Picocell 切换。同样, 当 UE 从空闲模式向连接模式移动时, 网络可以通过配置 RRC 连接释放触发器来减少信令负载。

UE 可以通过 RRC ConnectionRequest 信息或者 RRC ConnectionSetupComplete 信息向网络发送 UE 专用信息, 过程如图 6 所示。

目前的方案中, UE 的移动状态估计大部分是基于 UE 侧进行的, 原因有 3 个。

- 基于 UE 的速度估计方案将会带来较小的复杂度, 同时对已经存在的系统和标准的影响较小。

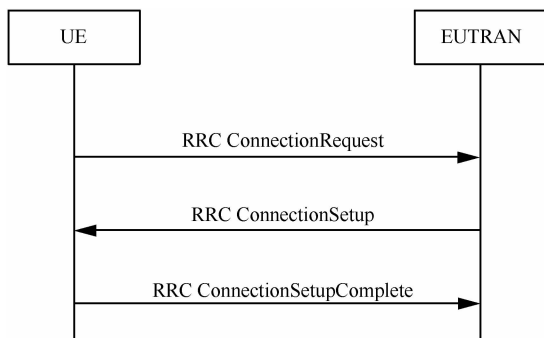


图6 RRC连接建立过程

- 基于网络的解决方案需要在不同的 eNode B 进行数据的收集,并且在回程链路进行数据交换,同时对数据的处理也会带来很大负载。这有可能引入额外的估计时延,进而影响估计的不准确度。而 UE 数据收集方案可能会经历较少的时延,从而带来更好的估计性能。
- 基于 UE 的状态估计,对于 UE 根据本地获得的速度信息调整其参数来说很方便。

然而,基于网络的状态估计也具有一定的优势,主要表现为如下:

- 网络获取小区大小以及网络部署环境信息很容易,便于选择不同的移动状态估计方案。
- 网络在 RRC 连接配置上具有很大的优势,可以根据不同的网络部署场景对链路参数进行提前配置。

2.5 空闲模式的 UE 状态估计

异构网络中,对于 R8 中增强型 MSE 流程有许多不同的提案,如带有小区特定权值的增强型 MSE、只有 Macrocell 分布的计数、基于 eNode B 位置的 UE 速度估计方案以及基于格雷—监听的增强型 MSE 方案。然而,大部分提案只考虑了 UE 处于连接状态下的情况。

当 UE 处于空闲模式时,网络很难捕获 UE 的移动性状态信息或者历史信息记录,因而很难跟踪 UE 的位置和速度^[7]。相反,有时候,包括访问小区的 ID 和相应的驻留时

间的历史记录可能会产生严重的信令负载。因此,未来的研究方向可以选择在 UE 空闲模式下上报 UE 移动性状态。并且,从 RRC 空闲模式向 RRC 连接模式转变期间上报 UE 移动性状态将会带来很大的效益。

2.6 滑动窗移动状态估计

有的提案提出在移动状态估计的时候可以采用滑动窗移动状态估计的方案^[8],这种估计方案一般固定一个观察时间,并统计观察时间内发生的小区切换的数目,并以此来判决移动状态。

针对滑动窗移动状态估计的方案,又提出了带有长观察时间的滑动窗偏移 MSE^[9],较长的观察时间窗由于可以积累更多的切换/小区重选信息,从而可以提高 MSE 性能。然而,长观察时间存在一个问题就是检测移动性变化的时延,因此,笔者考虑采用基于滑动式观察时间窗的偏移 MSE 来减少检测时延。

长观察时间窗持续时间为 T ,由 N 个时隙组成。UE 一开始假设为高速移动状态并且在每个时隙记录了切换/重选数目。时间 T 之后,UE 根据这 N 个时隙的总的数目再对自己的移动性状态进行判决。随后,UE 记录每个时隙的切换/重选数目(例如第 i 个时隙的数目为 C_i),UE 的 MSE 判决取决于一个滑动窗中当前时隙以及前 $N-1$ 个时隙的切换/重选数目,如图 7 所示。

下面就上述 6 种方案进行性能评估,见表 1。

3 降低切换失败率的方法

相比于 UE 向源 eNode B 发送测量报告的失败率,切换指令的失败率所导致的切换失败占据了更大的比重。因此,考虑在切换指令方向进行移动性增强技术方案的时候,应该优先考虑减少切换指令失败率的增强技术。在 3GPP TR36.932 技术报告^[10]中,切换流程一般被划分成 3 个状态。

3.1 切换提前判决方案

切换流程中,状态 2 的切换失败发生的主要原因在于

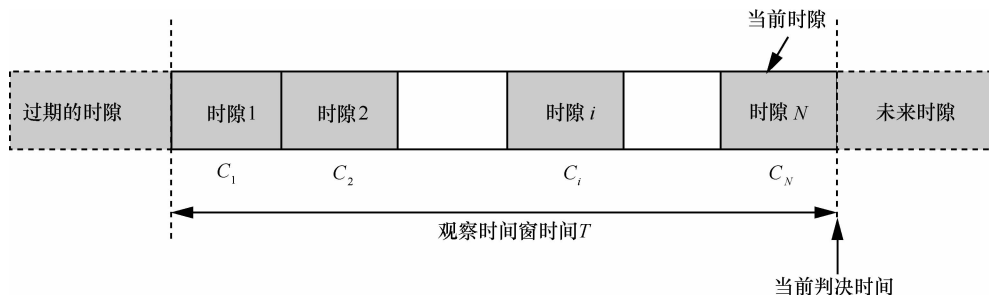


图7 基于滑动窗的 MSE 示意

表 1 MSE 增强技术方案的评估指标

准则	描述说明					
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
移动性能	提高 MSE 精确度	大大提高 MSE 精确度	提高 MSE 精确度	减少信令负载,提高 MSE 精确度	减少信令负载	减少状态检测时延,提高 MSE 性能
标准力度	可以进行速度估计	可以精确反映 UE 移动状态	可以对 UE 的移动速度进行估计	可以将速度估计的结果在 UE 侧和网络侧共享	空闲模式下由 UE 向网络上报移动性状态	可以积累更多的切换/小区重选信息
操作/配置力度	需要提前获知小区大小和位置	UE 需要存储在每个小区的最大和最小 RSRP	UE 需要提前获知邻小区的位置信息和邻小区对 UE 的测量信息	UE 需要提前获知路由环境;网络需要提前获知小区大小和部署方案信息	UE 需要提前配置相关特殊信令,以供空闲模式下 UE 向网络上报信息	UE 需要提前配置滑动窗时间内不同切换次数的状态判决准则
信令负载	信令以广播形式或者专用信令通道传递给 UE	需要高层传输 UE 移动状态判决门限	网络需要相互共享不同时间段的 UE 位置信息;UE 需要提前通知邻小区进行 MSE	需要信令传递 MSE 结果,使 UE 和网络共享	UE 需要特殊信令来上报信息给网络	无影响
缺点	需要提前获知小区位置和大小,小区配置灵活性不高,且只适用于小区半径很小的场景	增加了 SToS 率	网络信令负载较大,共享信息更新频率较高,复杂度较高	UE 对网络部署信息和小区大小的处理复杂度;网络对 UE 信息数据的收集时延大	UE 需要专门配置用于状态汇报的特殊指令,增加了处理复杂度	由于向高速 MSE 偏移,故增加了乒乓切换率

UE 不能正确快速地接收到切换指令,因为对于 TTT 较大的情形,UE 可能在一个较长的时间内接收到的服务小区的信号并不理想,需要进行切换,而此时切换触发机制却没有完成,所以 UE 不得不坚持在源小区接收服务,即使服务不理想,这种情形可以被认为是一种延迟切换。因此,当 Picocell 是源小区、Macrocell 是目标小区的时候,可以实行“切换提前判决”的解决方案^[1]。一种处理 P2M 的方法就是引入一个偏移量来加快 P2M 的切换,这种促进 P2M 切换的偏移量(称作 P2M_off)只在 P2M 的切换方案中采用。当对 P2M 切换进行 A3 事件评估判决的时候,可以用如下判决条件:

- $RSRP(M)+P2M_off>RSRP(P)+A3_off$ (P2M 切换条件);
- $RSRP(M)+P2M_off>RSRP(P)+A3_off$ (M2P 切换条件)。

$RSRP(M)$ 代表 Macrocell 中 UE 接收到参考信号接收功率, $RSRP(P)$ 代表 Picocell 中 UE 接收到的参考信号接收功率。

3.2 缩短切换流程

正常的切换流程在时间上主要包括两部分:TTT 和切换准备时间。由于缩短 TTT 将会加快 UE 的切换频率,相应地增加乒乓切换率。因此,相比较而言,一般将缩短切换准备时间作为主要的缩短切换流程的备选方案^[12]。

切换准备流程在整个切换流程中起着很重要的作用。源 eNode B 发送 UE 环境信息、RRC(无线资源控制)环境信息以及其他相关的信息给目标 eNode B。目标 eNode B 可以根据这些信息为即将到来的切换做出相应的准备工作。

本文提出一种缩短切换准备流程的方法,TTT 触发器和切换准备是同时并行开始的,步骤如图 8 所示。

其中要注意以下两点。

- 在 TTT 触发器的有效时间内,源 eNode B 很有可能会在接收到来自于潜在 eNode B 的反馈信息之前接收到 UE 的测量报告。如此,源 eNode B 一旦接收到来自潜在目标 eNode B 的反馈信息便立即将切换指令发送出去,而不是缓存切换指令。
- 如果 UE 没有通知其反馈信息中指示的目标 eNode B 做好切换准备(也就是说测量报告中包含的目标 eNode B 并没有收到来自于 UE 的通知,指示目标 eNode B 需要进行切换准备操作),那么源 eNode B 将会触发与不同的目标 eNode B 的切换准备。

3.3 阻止高速移动用户向 Picocell 切换

在 M2P 切换类型中,当 UE 处于高速移动状态时,可以通过避免高速移动 UE 到 Picocell 的切换来降低

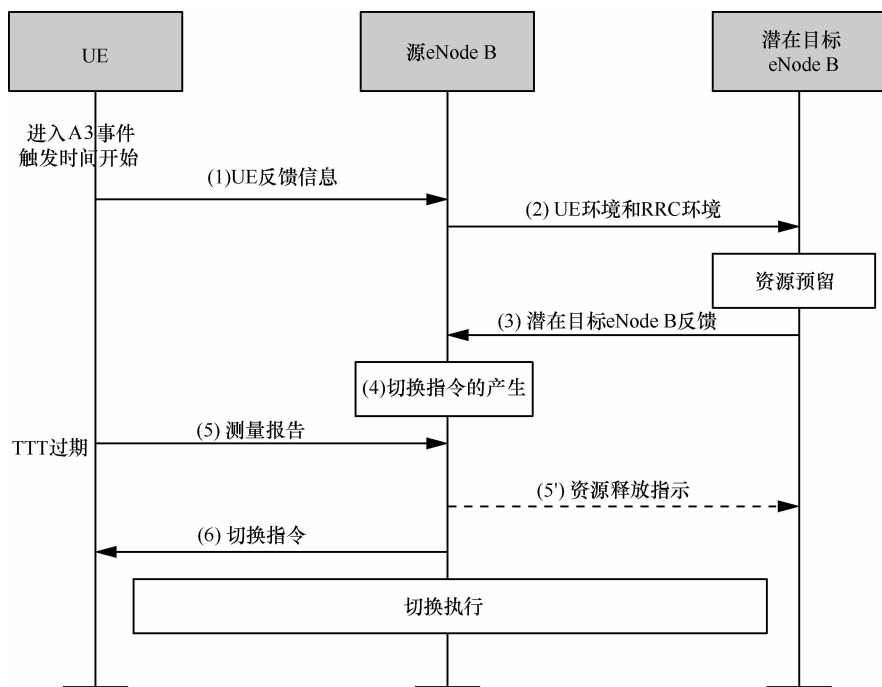


图8 切换准备流程示意

Macrocell 和 Picocell 之间发生的切换失败率^[13]。这种方案的优势主要表现如下。

- 可以有效地提高全局切换性能,减少全局切换失败率和乒乓切换。
- 可以避免高速 UE 向 Picocell 的频繁切换,从而降低 Uu 接口、X2 接口以及 CN 带来的信令负载^[14]。
- 因为阻止了高速移动 UE 向 Picocell 内切换的可能性,可以更好地节约 UE 在相邻的 Picocell 上进行参数测量的功率消耗,也更好地节约了用于发送测量报告的无线射频资源。
- 由于高速移动 UE 在 Picocell 中的驻留时间很短,因此,它们在 Picocell 覆盖范围内遭受 SToS 概率更大,SToS 意味着在 UE 和 eNode B 之间不支持有效的数据传输,这样将快速移动 UE 切换进 Picocell 中几乎不会带来负载增益。

这种方案所带来的劣势也将会是致命的,主要表现为以下两点。

- 由于 UE 接收到的来自于 Macrocell 提供的服务可能达不到所需要的要求,此时,UE 急切需要进行切换,甚至已经发出 RRC 连接重建机制或者 T310 提前中断机制,然而,当 UE 检测到 Picocell 提供服务优于 Macrocell 时,如果仍然采用阻止高速移动的

UE 切换到 Picocell 中的方案,势必会增加 UE 的服务中断率。

- 当 UE 持续经过多个不同的 Picocell 时,由于切换进程都被禁止,服务中断将会是致命的。因此在采用阻止高速 UE 向 Picocell 内切换方案的时候,需要考虑 Picocell 周围的小区环境。

3.4 切换因子缩放

3.4.1 基于切换类型的切换因子缩放

研究表明,切换失败率(HOF rate)性能与 SToS 性能是矛盾的。根据切换类型来调整切换因子将会有利于缓解异构网络环境中切换失败率和短驻留时间率之间的矛盾^[15];同时,根据切换类型设置不同的 A3 偏移的值,也有利于缓解异构网络环境中切换失败率和短驻留时间率之间的矛盾。

3.4.2 基于移动状态的切换因子缩放

移动性因子、切换门限、TTT 以及 K 因子都是移动性能配置中可以优化的因子。对于速度是 60 km/h 的 UE 来说,TTT 通常假设为 160 ms,切换门限为 2 dB,K=2;对于低速移动 UE(30 km/h),这 3 个移动性参数被缩放 1.5 倍;对于高速移动性 UE(120 km/h),这些因子被缩放 0.5 倍。

根据不同的移动状态来调整切换相关参数,不仅会改善 P2M 以及 M2P 切换类型的切换失败率性能,也会降低 M2M 的切换失败率。特别是对于高速移动的 UE 来说,采

用一个短的 T310 值将会带来很大的增益^[16]。

同时,为了最小化信令负载以及最小化 T310 更新时延,可以在已知目标小区类型的基础上,根据不同的移动状态,采用不同的 T310 的值进行预先配置。

3.4.3 基于提前中断方案的切换因子调整

本文提出了一种 T310 提前中断的切换方案,如图 9 所示,这种方案中 T310 的值将会因为测量因子而变小,从而可以提前中断^[17]。

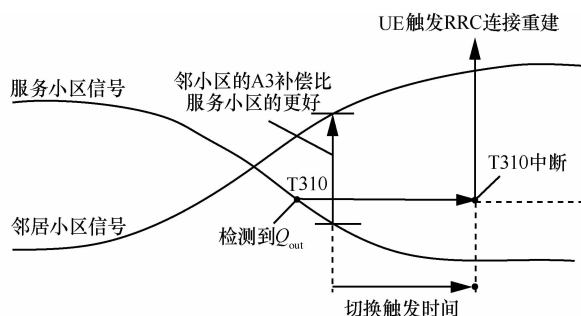


图9 T310的提前中断

提前中断指示可以通过 RRC 配置,如通过一个简单的标识。提前中断可以允许被特定的测量事件触发,即可以根据网络测量因子来触发提前中断。

方案优势:当小区密度较高的时候,切换或者连接重建的数目将会大幅度增加,同样,中断时间也会相应地增加。T310 提前中断的解决方案将会尽快启动 RRC 重建流程,很大程度地减少切换或者连接重建的中断时间;同时,此方案可以给用户带来更好的服务体验,使用户感受不到服务盲区。

方案劣势:由于 T310 提前中断,缩短了切换流程的准备时间,当 UE 在不同小区来回移动时,将会产生乒乓切换,从而给系统处理复杂度带来很大的挑战。

3.4.4 基于 RSRP 测量梯度的 TTT 缩放

基于 RSRP 测量梯度提高异构网络切换性能的方案的关键是考虑无线信号的变化率,即梯度。梯度的定义一般为:

$$\text{Gradient}(\Delta) = \frac{\Delta \text{signal}}{\Delta \text{time}}$$

其中, Δsignal 可能是源—目标信号的不同或者只是源信号的不同。

一般来说,当服务小区有较高的 RSRP 的时候,UE 在跟服务小区失去连接之前,UE 可能有一个较长的时间切换到目标小区。因此,只有当服务小区的 RSRP 较低时,UE

才需要尽快进行切换。

为了避免状态 2 的切换失败,UE 需要尽快发送测量报告,这样,切换指令才能被成功接收。因此,基于梯度值的 TTT 缩放是一个值得考虑的可行性方案。当考虑到基于梯度的 TTT 的缩放的时候,遵循如下规则:

$$\text{Gradient}(\Delta) = \frac{\Delta \text{signal}}{\Delta \text{time}}$$

选择 TTT 的时候满足 $\Delta < \Delta \text{threshold}$, 其中 $\Delta \text{threshold}$ 与 TTT 相对应,这意味着当梯度值超出门限的时候,TTT 需要缩放;否则不需要缩放。

这种方案的主要优点是适用范围广,能够根据不同的参考信号接收强度进行切换触发时间的调整,减少切换时延损耗;缺点是 UE 的功率消耗无法控制,功率消耗有时会过高,甚至得不到优化。

3.4.5 基于 RSRQ 的 A3 偏移值和 TTT 的缩放

A3 偏移值和 TTT 值根据不同的 RSRQ 门限值进行缩放^[18]。当服务小区的信号好的时候,使用一个较大的 TTT 来避免乒乓切换/SToS 率。同样的,当服务小区的 RSRQ 不好时,需要使用一个较小的 TTT 进行快速切换来避免 HOF。总的来说,基于 RSRQ 的解决方案为 UE 的不同移动状态提供了一个好的切换性能改进,同时还可以在大部分部署方案中保持较小的 SToS 率,并且这种情形下不需要获取 UE 的速度信息来调节最优的 TTT 或者 A3 偏移值。

3.5 保护切换指令机制

状态 2 的切换失败的根本原因是切换指令由于 Macrocell 的强烈干扰而遭到破坏。ABS 方案采用类似于无线传输技术中的隔离带的方法,在异构网络中 P2M 切换实例中,Macrocell 被安排为 Picocell 提供 ABS,这样 Picocell 就可以正确地发送向外切换信息(从 Picocell 向外切换),ABS 样式是由 Macrocell 提供的,以此来减少来自于 Macrocell 对切换指令信息的干扰^[19]。

这种方案的优势是状态 2 的向 Picocell 内切换或者向 Picocell 外切换的切换失败不会受到网络部署方案的影响,也不会受到小区密度的影响。同时,为了更好地利用 ABS 机制,可以在后续的研究中,加入与切换流程相关的其他信息,这样可以充分利用信令资源。

缺点是在 Picocell 或者 Macrocell 提供 ABS 机制的时候,将会相应地增加传输信令的负载,降低传输效率。

3.6 切换指令的广播机制

如果切换指令能够通过多小区进行传输(多小区协



作),切换指令的传输成功率将会得到很大的提升^[20]。假设切换指令在邻居小区都能被获得(不论是同一个 eNode B 还是不同的 eNode B),切换指令信息可以用下行 SINR (signal to interference and noise ratio, 信号与干扰噪声比)传输,UE 可以正常地接收。此时,如果关于来自小区的信息错误概率为 p_i 且 N 个小区传输相同的信息,切换指令的错误传输概率为 P_N ,则:

$$P_N = \prod_{j=0}^{n-1} P_j$$

当 UE 离开一个 Picocell 到一个 Macrocell 或者到另一个 Picocell 中时,切换指令可以同时被服务小区和目标小区传输。当从 Picocell 0 到 Macrocell 0 时,源服务小区 Picocell 0 和目标小区 Macrocell 0 都可以传输切换指令,如图 10 所示。当从 Picocell 0 到 Picocell 1 切换时,源服务小区 Picocell 0、目标小区 Picocell 1 和 Macrocell 0 也都可以传输切换指令,如图 11 所示。

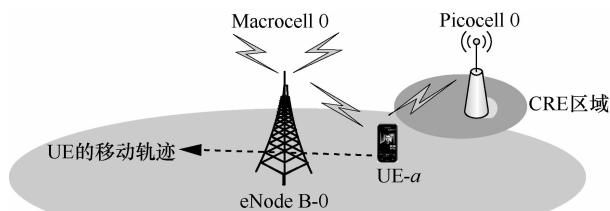


图 10 P2M 切换指令的广播示意

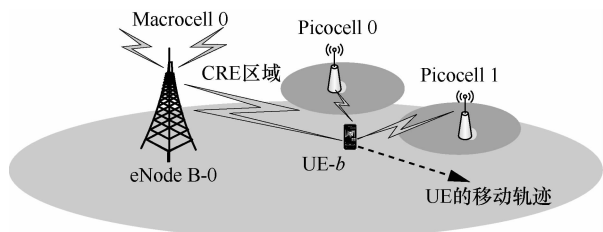


图 11 P2P 切换指令广播示意

在部署方案中,UE 可能需要监控邻小区的切换指令,以防不能从服务小区获得切换指令。服务 eNode B 可以通过在邻居列表测量上定义一个门限来配置用于传输切换指令的潜在的邻小区。例如,所有的测量到的 RSRQ 超过一定的门限的邻小区将会为了传输切换指令而被 UE 监控,以此避免 RLF 的发生。

这种方案的优点是可以很大程度地保证切换指令的传输成功率,减少切换失败率;但是其缺点也是明显的:

- 由于各个邻小区都需要提前获知切换指令,因此将

会在信令负载上产生较大的影响;

- 由于每个小区可能是多个小区的邻小区,小区需要相当一部分存储空间来存储切换指令;
- 当一个小区同时向多个 UE 发送切换指令时,需要一定的切换指令保护措施和区分措施来保证切换指令的正确传输和接收;
- 涉及乒乓切换时,对于邻小区的指令存储和传输的流程要求也比较高。

因此,此方案将会在小区密度较低的郊区等环境得到较广的应用;同时,可以考虑一种方案,单独安排每个小区中切换指令的传输,以减少协调复杂度。

下面就这 6 种不同的切换方案的性能指标进行评估,具体见表 2。

4 Small Cell 面临的挑战和未来

未来 Small Cell 的发展将会呈现出广阔的前景,特别是将其结合推广应用到 LTE-Advanced 中,因此,这也给 Small Cell 中的关键技术和研究方向提出了许多挑战。

(1) 提高移动状态估计的精确性和及时性

面对移动性增强技术越来越高的技术要求,MSE 的精确度和及时性也越来越高,通过基于 RSRP/RSRQ 的 MSE 方案将会因其能精确反映 UE 穿行轨迹而受到广泛应用。

(2) 提高切换指令的顽健性和抗干扰性

由于 Small Cell 网络中部署环境的日益复杂化,不同小区之间的干扰亦将会愈加激烈。如何在复杂多变的 Small Cell 环境下更好地保护切换指令传输,使其所遭受的小区间的干扰降到最低,成为降低小区切换失败率一个很关键的方面。

(3) 切换流程的简化

现有的切换流程导致了切换过程产生了较大的时延,一定程度上降低了切换的及时响应性。未来可以考虑加入相关参数(如 TTT、T310 等)进行切换提前判决、执行,缩短切换流程,减少切换时延。

(4) 切换因子的优化

切换因子在切换方案中的影响是很明显的,直接制约着切换方案的性能。未来可以着重考虑根据 UE 或者网络侧获得的相关测量参数对切换因子(如 TTT、T310、A3 值等)进行比例缩放,使之对切换方案和切换场景更吻合,降低切换失败率,提高切换效率。

(5) 切换场景的划分

表 2 降低切换失败率方案的性能评估

准则	描述说明					
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
移动性能	提高服务连续性和服务质量	提高切换效率	降低切换失败率	缓解 HOF 和 SToS 之间的矛盾	降低切换失败率	提高切换指令的顽健性
标准力度	采用 P2M 切换偏移量加快 P2M 的切换判决	缩短切换准备流程	阻止高速 UE 从 Macrocell 向 Picocell 的切换	基于不同因素的切换相关因子缩放	保护切换指令的传输,同时可以适当阻止 Picocell 的相关切换	通过多小区协作切换指令的传输,多小区广播切换指令
UE 功率消耗	依据 RSRP 作为切换判决依据	减少功率消耗	节约功率消耗	不定	无影响	小区广播要增加功率消耗
操作/配置力度	无需提前配置	UE 要提前通知源 eNode B 和目标 eNode B 做好切换准备	UE 需要提前获知邻小区的类型,或者在 Macrocell 中配置较长的 TTT 时间	UE 需要根据测量数据提前配置参数的缩放比例	需要在切换指令发送的间隙进行包装	服务 eNode B 需要配置用于传输切换指令的相邻小区,UE 需要随时监控邻小区的切换指令
信令负载	不需要相关信令	UE 上报反馈信息,eNode B 反馈切换指令	降低用于切换的信令负载	因可能要经常更新切换因子,故可能会增加信令负载	网络提供 ABS 机制时会增加信令负载	增加了信令负载
空闲 UE 下的应用	可以应用	UE 需要反馈信息给 eNode B,故不可应用到 UE 空闲模式下	在 UE 侧实行切换阻止时,可以应用到 UE 空闲模式下	可以应用	因需要使用网络提供的 ABS 服务,故无法应用到空闲 UE 模式下	UE 需要随时与网络进行通信,故不能用于空闲 UE 模式下
缺点	加速切换判决速度,易增加乒乓切换率	由于切换流程缩短了,相应的信令负载会增加	导致服务的不连续性以及服务质量的下降	可能会增加乒乓切换率,信令负载,同时由于要经常更新切换因子,故增加了执行复杂度	浪费网络下行资源,降低传输效率	信令负载和功耗较大,对乒乓切换率较高的环境下影响很大

小蜂窝网络的部署环境越来越复杂,不同类型的小区之间的切换对切换方案以及切换性能的要求也将不同。未来可以考虑将不同的网络部署环境进行划分,对于特定的网络环境实行特定的切换方案,例如禁止 UE 从 Macrocell 向 Picocell 切换方案等,减少资源浪费,提高切换性能。

5 结束语

面对 LTE-Advanced 对高速数据传输业务以及高质量数据服务的要求,将 Small Cell 的相关技术应用到 LTE-Advanced 中将成为未来发展的主要趋势。移动性增强方案是 Small Cell 技术的关键,其性能的提高依赖于精确的移动状态估计、切换指令的有效传输以及切换过程的正确快速实现。围绕这 3 点本文提出了多种不同的方案并进行了分析比较,最后对未来研究方向进行展望。

未来 Small Cell 的主流研究方向仍然将会是更高精确度的移动状态估计、切换指令的抗干扰传输和接收以及更

优性能切换方案的创新。

参考文献

1 3GPP Tdoc R2-130101.Summary of Proposed Solutions for HetNet Mobility Enhancement. Alcatel-Lucent Shanghai Bell, 2013

2 3GPP Tdoc R2-130102. UE Speed Based Methods for Improving the Mobility Performance in HetNets. Alcatel-Lucent Shanghai Bell,2013

3 3GPP Tdoc R2-130226. Investigation of HO Failure Rate in Het-Net Environment. Huawei, HiSilicon,2013

4 3GPP Tdoc R2-131055.Alternative Speed Estimation Solutions for Improving MSE. Alcatel-Lucent Shanghai Bell, 2013

5 3GPP Tdoc R2-131399. Mobility State Estimation Using Differential RSRP. Intel Corporation, 2013

6 3GPP Tdoc R2-131337. Mobility Estimation Mechanism in Heterogeneous Networks. Ericsson, ST-Ericsson, 2013

7 3GPP Tdoc R2-131023.Requirements for Enhanced MSE. ITRI, 2013

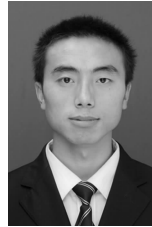


- 8 3GPP Tdoc R2-131055.Alternative Speed Estimation Solutions for Improving MSE. Alcatel-Lucent Shanghai Bell, 2013
- 9 3GPP Tdoc R2-131197. MSE-based Mobility Enhancement. Institute for Infocomm Research (I2R),2013
- 10 3GPP TR 36.932 V12.1.0. Technical Specification Group Radio Access Network; Scenarios and Requirements For Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Release 12), 2013
- 11 3GPP Tdoc R2-131315.Improving HO Performance in HetNet. Samsung,2013
- 12 3GPP Tdoc R2-130957.HO Performance Improvement in Hetnet. ZTE Corporation,2013
- 13 3GPP Tdoc R2-130963.Mobility Performance Improvement of High Speed UE.CATT,2013
- 14 3GPP Tdoc R2-131053.Views on How to Down Select Solutions for Improving Overall HO Performance. Fujitsu,2013
- 15 3GPP Tdoc R2-130961.Evaluation on Adjusting Parameters for the Handover Type. CATT,2013
- 16 3GPP Tdoc R2-131057. Discussion on UE Based Speed Estimation for Improving the Mobility Performance in HetNets. Alcatel-Lucent Shanghai Bell,2013
- 17 3GPP Tdoc R2-130933.RLF Recovery Enhancements. Qualcomm Incorporated,2013
- 18 3GPP Tdoc R2-131396.Fast Handover Using RSRQ/RSRP with SToS/Ping-Pong Avoidance. Intel Corporation,2013
- 19 3GPP Tdoc R2-131002.Mobility Performance Enhancement

Based on UE speed in HetNet.New Postcom,2013

- 20 3GPP Tdoc R2-131371.Improving HO Performance by Multicasting HO Command. Research In Motion UK Limited, 2013

[作者简介]



王东军,男,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为 LTE-Advanced 异构小蜂窝网络下的移动性管理研究。

符媛柯,女,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为 LTE-Advanced 异构小蜂窝网络下的移动性管理研究。

唐伦,男,博士,重庆邮电大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为新一代无线通信、LTE-Advanced 异构小蜂窝网络。

陈前斌,男,博士,重庆邮电大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长,主要研究方向为个人通信、多媒体信息处理与传输、下一代网络、LTE-Advanced 异构小蜂窝网络等。

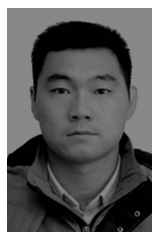
(收稿日期:2013-07-12)

(上接第 66 页)

[作者简介]



吴大中,男,南京信息工程大学副教授,主要研究方向为智能测控技术。



吴海东,男,南京信息工程大学硕士研究生,主要研究方向为信道编码技术。

(收稿时间:2013-09-27)

(上接第 72 页)

- 26 Shen J, Liu S, Zeng L, *et al.* Optimisation of cooperative spectrum sensing in cognitive radio network. IET Communications, 2009, 3(7)
- 27 Wang B, Liu K, Clancy T C. Evolutionary cooperative spectrum sensing game: how to collaborate. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58(3)
- 28 Ian F A, Brandon F L, Ravikumar B. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: a survey. Physical Communication, 2010(4)

[作者简介]



冯景瑜,男,西安邮电大学讲师,中国科学院大学在站博士后,主要研究方向为无线通信安全、认知无线电、协作频谱感知。

(收稿日期:2013-10-30)