



TD-LTE 系统功率控制技术的研究

陈俊 彭木根 王文博(北京邮电大学信息与通信工程学院 北京100876)

摘要: 分析了TD-SCDMA的长期演进系统(TD-LTE)中的无线资源管理(RRM)技术,介绍了TD-LTE系统的功率控制(Power Control)原理以及流程设计,提出了一种基于目标SINR的室外开环上行功率控制算法,研究了在功率控制中目标SINR对系统吞吐量的影响,仿真结果表明随着目标SINR的增长,小区边缘用户SINR迅速增大到达一定的峰值之后缓慢下降并趋于稳定,由此产生增益。

关键词: RRM;TD-LTE;FDD-LTE;功率控制

为了使移动通信与宽带无线接入BWA(Broadband Wireless Access)技术相互融合,并同时应对WiMAX和4G的挑战,3GPP启动了LTE项目。LTE采用正交频分复用(OFDM)、多输入多输出(MIMO)等先进的无线传输技术、扁平网络结构和全IP系统架构,支持最大20MHz的系统带宽、超过200Mbit/s的峰值速率和更短的传输延时,频谱效率达到3GPP R6标准的3~5倍。

TD-LTE作为TD-SCDMA的演进技术,目前已成为3GPP唯一的基于TDD技术的LTE标准。中国全面启动的TD-LTE产业与国际LTE产业基本同步,并已被国际广泛接受,将为中国在引领移动通信产业的发展带来重要的机遇。TD-LTE一方面继承了TD-SCDMA智能天线、特殊时隙等的核心专利;另一方面,TD-LTE可以提供更高的带宽,通过更灵活的频谱配置方案(1.4~20MHz)来提升网络效率和单个基站效率,并且采用公共无线资源管理控制基站来简化系统结构,减少网络节点,从而更加有效地为用户提供服务^[1]。

在所有蜂窝系统中,无线资源管理(RRM)的功能对于系统的性能非常重要,它决定了容量、覆盖和服务质量(QoS)及无线接口资源的使用效率。RRM提供空中接口的无线资源管理的功能,目的是能够提

供一些机制保证空中接口无线资源的有效利用,实现最优的资源使用效率、更高的数据速率、更低的时延,从而满足系统所定义的无线资源相关的需求^[2]。

1 LTE系统架构

LTE系统在设计之初便在基于分组交换的提高数据速率、降低传输时延、提高系统性能、降低系统复杂度等系统需求方面进行了严格的定义,现有3G系统架构难以满足LTE的系统需求,为全面满足LTE系统需求,系统架构也重新进行了设计。

从整体上说,TD-LTE系统和FDD-LTE系统采用相同的系统架构,与3GPP系统类似,分为核心网和接入网两部分;TD-LTE和FDD-LTE之间的差别主要表现在帧结构(TDD帧包含特殊时隙DwPTS和UpPTS)和多天线配置上(TDD沿用智能天线技术,支持8天线的波束赋形技术,FDD最多支持4天线)^[4]。

如图1所示,LTE系统的整体架构包括演进后的核心网EPC(Evolved Packet Core network),即图中的MME/S-GW和演进后的接入网E-UTRAN。LTE接入网仅由演进后的节点B即eNB(evolved Node B)组成,提供到UE的E-UTRA控制面与用户面的协议终止点。eNB之间通过X2接口进行连接,并且在需要通信的两个不同eNB之间总是会存在X2接口。LTE接入网

与核心网之间通过S1接口进行连接,S1接口支持多到多连接方式。

与3G系统的网络架构相比,接入网仅包括eNB一种逻辑节点,网络架构中节点数量减少,网络架构更趋于扁平化。这种扁平化的网络架构带来的好处是降低了呼叫建立时延以及用户数据的传输时延,并且由于减少了逻辑节点,也会带来运营成本(OPEX)与资本支出(CAPEX)的降低^[5]。

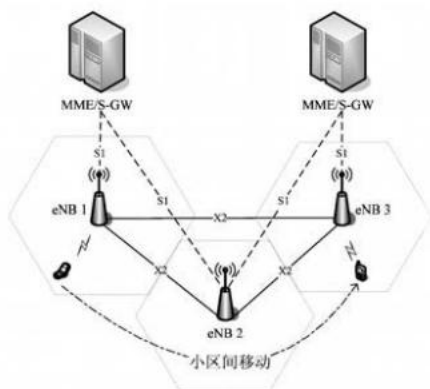


图1 LTE系统架构

2 TD-LTE系统RRM组成

RRM技术包括无线承载控制(RBC)、无线接入控制(RAC)、连接移动性控制(CMC)、动态资源分配(DRA)、小区间干扰协调(ICIC)和负载均衡(LB)。

无线承载控制RBC(Radio Bearer Control)包括无线承载的建立、保持、释放,是对无线承载相关的资源进行配置。当为一个服务连接建立无线承载时,无线承载控制需要综合考虑E-UTRAN中无线资源的整体状况、正在进行中的会话的QoS需求以及该新建服务连接的QoS需求。

无线接纳控制RAC(Radio Admission Control)功能用于在请求建立新的无线承载时判断允许介入或拒绝接入。为得到合理、可靠的判决结果,在进行接纳判决时,无线接纳控制需要考虑E-UTRAN中无线资源状态的总体情况、QoS需求、优先级、正在进行中的会话QoS情况以及该新建无线承载的QoS需求^[6]。

连接移动性控制CMC(Connection Mobility Control)功能用于对空闲模式及连接模式下的无线资源进行管理。在空闲模式下,为小区重选算法提供一系列参数以确定最好小区;在连接模式下,支持无线连接的移动性,基于UE与eNB的测量结果进行切换决策。

动态资源分配DRA(Dynamic Resource Allocation)又称为分组调度PS(Packet Scheduling),该功能用于分配和释放控制面与用户面数据包的无线资源,包括缓冲区、进程资源、资源块等。动态资源分配主要考虑无线承载QoS需求、信道质量信息、干扰状态等信息。

小区间干扰协调ICIC(Inter-cell Interference Coordination)功能是指通过对无线资源进行管理,从而将小区之间的干扰水平保持在可控的状态下,尤其是在小区边界地带,需要对无线资源做些特殊的管理。

负载均衡LB(Load Balancing)功能用于处理多个小区间不均衡的业务量,通过均衡小区间的业务量分配,提高无线资源的利用率,将正在进行会话中的QoS保持在一个合理的水平,降低掉话率。负载均衡算法可能会导致部分终端进行切换或小区重选,以均衡小区间负载状况。

3 功率控制

TD-LTE系统是一个干扰受限系统,其优越性的体现有赖于功率控制技术的使用。功率控制是TD-LTE系统中资源分配和干扰管理的关键技术之一,有效的功率控制算法能够降低用户间的相互干扰,可以在满足每个用户通信质量的前提下,最小化其发射功率,从而减少干扰、增加系统容量,并能延长手机的待机时间^[7]。

3.1 功率控制算法分类

功率控制算法主要从两个层次分析和研究:全局层次和局部层次。可以将功率控制分成不同的类型^[3],如图2所示。

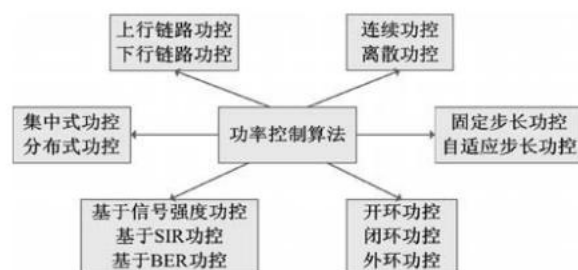


图2 功率控制技术分类

根据功率控制在蜂窝系统中的链路方向不同分为:上行功率控制(从移动台到基站)和下行功率控制(从基站到移动台);根据功率控制处理方式分为:



集中式功率控制和分布式功率控制。根据确定功率控制命令的测量指标分为:基于信号功率、基于SIR(信干比)、基于BER(误码率);根据功率控制信息的获取方式分为:开环、闭环、外环。其中闭环又称为快速内环。

开环功率控制是指发射端根据自身测量得到的信息对发射功率进行控制,不需要接收端的反馈。开环功率控制在TD-LTE系统中主要用于随机接入过程,由于系统上下行链路在同一个载频上传送,通过对导频信号的路径损耗估计,接收端可以对发送信号的路径损耗进行准确估计,相应调整发送功率。开环功率控制的基本原理可描述为:

$$P_{\text{trans}}(\text{dBm}) = P_{\text{loss}}(\text{dB}) + P_{\text{des}}(\text{dBm})$$

其中 P_{trans} 为开环功率控制调整后的终端发射功率; P_{loss} 为测量得到的链路路径损耗; P_{des} 为基站期望收到的目标功率。

开环功率控制不需要反馈信道,算法相对于闭环功率控制反应更灵敏。它可对移动台发射功率的调整一步到位,即信道衰落多少就补偿多少。但是在深衰落的信道环境中,开环会使功率幅度调节过大产生误调,恶化系统性能。所以开环功率控制在目前的标准中仅在无线链路建立时使用。

闭环功率控制是指需要发射端根据接收端送来的反馈信息对发射功率进行控制的过程。它分为功率调节和功率判决两个部分,因此功率调整的延迟较大。

环境因素(主要是用户的移动速度、信号传播的多径和延迟)对接收信号的质量有很大的影响。当信道环境发生改变时,接收信号SIR和BLER的对应关系也相应发生变化。要根据信道环境的变化,调整接收信号的SIR目标值。由于UE和基站间的通信,闭环功率控制可以校正测量误差,并且以更小的更新周期来补偿快衰,但是相对地需要一部分的反馈信息来换取调整精度的提高。另外还可以加入外环功控,结合快速AMC(自适应调制和编码)来补偿因信干噪比(SINR)测量和干扰变化而产生的误块率(BLER)相对目标值的偏离。

外环功率控制的功能是将目标SIR调整到最恰当的值,以保证信号质量。外环功率控制流程主要包含三部分:测量接收信号质量BLER、查询指定BLER门限值、门限判决,按照相应策略调整SIR目标值。

外环功率控制的SIR目标值调整策略是外环功率控制流程的核心部分,理想的外环功率控制算法可以根据测量BLER值(或物理层BER等测量信息),兼顾判决的不同情况,以不同步长调整SIR目标值。根据功率调整大小的度量,功率控制又分为连续功率控制和离散功率控制;根据功率更新的测量,功率控制分为功率调整步长固定(固定步长算法)和功率调整步长根据信道状况自适应地调整。

3.2 TD-LTE功率控制的特点

由于LTE下行采用OFDMA技术,一个小区内发送给不同UE的下行信号之间是相互正交的,因此不存在CDMA系统因远近效应而进行功率控制的必要性,即基站对本小区内所有频带都是以等功率发射的。在TD-LTE中主要侧重上行功率控制,用户根据功率控制参数对不同的信道设定不同的上行发射功率。TD-LTE上行功控主要用于补偿信道的路径损耗和阴影衰落,并用于抑制小区间干扰。采用慢功控方式,功控频率不高于200Hz。TD-LTE系统可以利用上下行信道对称性进行更高频率的功率控制。

开环功率控制一般用于TD-LTE系统的上行链路中;闭环功率控制在上下行都有,有时会结合外环功率控制来使功率保持在一定范围内。功率漂移与软切换相关,由于TD-LTE中采用硬切换,所以此处并不考虑功率漂移。此外,非实时服务的功控是选择性的,因为有混合自动重传请求(HARQ),所以非实时服务不再需要功率控制使接收功率在深衰下仍保持在给定值上^[8]。

3.3 FDD系统和TDD系统的功率控制区别

TDD系统开环功率控制算法和快速闭环功率控制算法理论上完全可以采用类似FDD系统的相应算法机制,主要差别在于不同算法的具体参数设置,如TDD系统的快速闭环功率控制只在每帧(或子帧)内某个或某些时隙执行是非连续的,另外采用了多用户检测技术和智能天线技术,所以其调整步长和FDD系统有很大不同。在TDD系统中,外环功率控制算法需要充分考虑其每时隙服务用户数少,每个接入用户对系统负载影响剧烈的特性,采用外环功率控制调整步长策略,自适应确定最佳目标SIR值,保证系统频谱效率尽量高^[10]。

3.4 TD-LTE功率控制算法

TD-LTE理论上不需要下行功率控制,而上行功

率控制仅是为了补偿路径损耗和阴影衰落,所以我们只讨论上行功率控制算法。上行功率控制计算公式可表示为^[9]:

$$P = \min \{P_{\max}, 10 \log_{10} M + P_0 + \alpha \times PL + \Delta_{\text{MCS}} + f(\Delta_i)\}$$

其中, P 为UE的发射功率; $P_{\max}$ 为UE的最大发射功率; M 为分配给该UE的上行RB数量; P_0 为小区特定或UE特定的参数(包括目标SINR、干扰水平等); α 为小区特定的路损补偿系数,(取决于部分功控的幅度, $\alpha=1$ 即进行完全的路损补偿); PL 为UE测量下行路损值; Δ_{MCS} 是由RRC(无线资源控制)层制定的针对某个特定MCS的参数; Δ_i 是小区特定的发射功率控制闭环修正系数;函数 $f(x)$ 由高层给出。

3.5 开环功率控制仿真结果分析

图3给出了室外开环功率控制在频率复用因子为 $N=1$ 情况下,小区半径分别为 $r=300$ 时的SINR-CDF曲线。表1为图中各条曲线5% CDF对应的SINR值 $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ 。

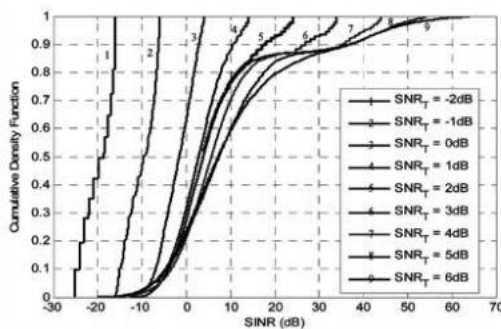


图3 室外开环功控下系统平均吞吐量对比示意图

表1 小区半径和 SNR_T 的不同组合对应的 $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ (dB), $N=1$

SNR_T (dB)	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
r (m)	300	-25.22	-15.39	-8.10	-6.10	-5.87	-7.16	-7.47	-7.47

结果可看出,当小区半径一定, SNR_T 的取值在 $-2 \sim 6$ dB之间变化时, $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ 的变化趋势为迅速增大到达一定的峰值后缓慢下降并趋于稳定。其中,当 SNR_T 取值大于5dB之后 $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ 基本保持在 -7 dB左右,因为在 $\text{SNR}_T=5$ dB时几乎所有的用户都已经使用最大发射功率值进行通信,继续增大 SNR_T 不会对 $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ 产生影响,此时相当于未使用上行功率控制技术;在小于5dB后,用户开始根据功率控制算法进行功率的选择,由表1中可知 $r=300$ 对应的 $\text{SINR}_{\text{cell-edge}}$ 峰值出现在 $\text{SNR}_T=2$ dB时。

4 结束语

本文提出了一种基于目标SINR的室外开环上行功率控制算法,并研究了在功率控制中目标SINR对系统吞吐量的影响。静态链路级仿真结果表明随着目标SINR的增长,小区边缘用户SINR迅速增大到达一定的峰值,之后缓慢下降并趋于稳定,并产生了增益,提高了系统性能。

参考文献

- [1] Mu gen Peng, Wenbo Wang, Hsiao-Hwa Chen. TD-SCDMA Evolution. IEEE Vehicular Technology Magazine, June 2010, 5 (2):28-41
- [2] Mugen Peng, Wenbo Wang. A Framework for Investigating Radio Resource Management Algorithms in TD-SCDMA Systems. IEEE Radio Communication Magazine, June 2005, 12-18
- [3] 彭木根, 王文博. 3G无线资源管理与网络规划优化[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006
- [4] Mugen Peng, Wenbo Wang, Hsiao-Hwa Chen. Technologies and Standards for TD-SCDMA Evolutions to IMT-Advanced. IEEE Communications Magazine, December 2009, 47(12):50-58
- [5] 沈嘉, 索士强, 全海洋等. 3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008
- [6] Mugen Peng, Wenbo Wang, Jie Zhang. Investigation of Capacity and Call Admission Control in TD-SCDMA Uplink Systems Employing Multi-user Detection and Smart Antenna Techniques. Wireless Communications and Mobile Computing, February 2010, 10(2):241-256
- [7] 3GPP TS 36.101 v8.7.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (Release 8)
- [8] 3GPP TS 36.133 v8.6.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for Support of Radio Resource Management (Release 8)
- [9] 3GPP TS 36.331 v8.6.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 8)
- [10] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE- The UMS Long Term Evolution: From Theory to Practice. Wiley, New York, 2009

作者简介: 陈俊, 北京邮电大学硕士研究生; 专业为通信与信息系统。■