

专题
LTE国家专项研究进展

LTE 物理下行控制信道盲检过程研究 * ·实用技术·

罗友宝, 李小文, 吴云梅

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

【摘要】 LTE 物理下行控制信道为整个系统上下行传输分配各种资源, 对系统起着非常关键的调度作用。基于 PDCCH 信道发送与接收流程, 根据 PDCCH 信道结构, 详细分析了信道的调度过程、专用搜索空间和公共搜索空间, 为终端 PDCCH 信道接收制定了一种详细的盲检方法, 为 LTE 系统的实际实现提供了理论依据。

【关键词】 长期演进; 物理下行控制信道; 搜索空间; 盲检

【中图分类号】 TN914

【文献标识码】 A

Research on LTE PDCCH Blind Detect Process

LUO You-bao, LI Xiao-wen, WU Yun-mei

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

【Abstract】 PDCCH plays a crucial role in the scheduling of LTE system, a variety of resources for the uplink and downlink transmission are assigned. Based on the processes of PDCCH sending and receiving, and according to the structure of PDCCH, a detailed analysis of PDCCH scheduling process is made, search space and common search space are dedicated, and a detailed blind detect method for the receiver of PDCCH is developed at the terminal side, a theoretical basis for the practical realization of LTE system is provided.

【Key words】 LTE; PDCCH; search space; blind detection

1 引言

长期演进(Long Term Evolution, LTE)作为准 4G 技术, 以正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)和多输入多输出(Multiple-Input Multiple-Out-put, MIMO)技术为基础, 下行采用 OFDM 多址技术, 上行采用单载波频分(SC-FDMA)多址技术, 在 20 MHz 频谱带宽下能够提供下行 100 Mbit/s 与上行 50 Mbit/s 的峰值速率, 因此对系统延迟要求非常高。

LTE 物理下行控制信道^[1](Physical Downlink Control Channel, PDCCH)作为系统资源分配和控制信息调度的核心, 其接收速度的快慢对系统的反应速度有着重要影响, 然而, 对于终端来说, 接收 PDCCH 却是一件相对麻烦的事, 因为终端不知道当前 PDCCH 传输的是什么信息, 也不知道自己所需信息在什么位置, 因此必须采取盲检的方式, 如果对系统中所有的 PDCCH 进行监视, 从终端的复杂度角度来说是不可行的, 因此必须采取有效的机制来限制盲检次数, 提高效率, 为整个系统的反应速度争取时间。

2 PDCCH 内容及结构

PDCCH 承载着一个或多个终端的下行控制信息^[2](Downlink Control Information, DCI), 包括终端接收物理下行共享信道(Physical Downlink Shared Channel, PDSCH)解调、译码等需要的下行调度分配信息, 通知终端在物理上行共享信道(Physical Uplink Shared Channel, PUSCH)传输时应使用的资源和传输格式等调度授权信息、共享信道传输的确认信息以及用于上行物理信道功率控制的传输功率控制命令等控制信息。DCI 分为多种格式, 不同格式承载的信息不同, 用途也各异, 其中 DCI 格式 0 对应的是 PUSCH 的调度信息; DCI 格式 1, 1A, 1B, 1C, 1D 对应的是 PDSCH 的调度信息; DCI 格式 2, 2A 对应的是多天线情况的一些配置信息; DCI 格式 3, 3A 对应的是上行功率控制方面的一些配置信息。

一个 PDCCH 包含 n 个连续的控制信道元素(Control Channel Element, CCE), 并且开始位置的 CCE 应满足 $i \bmod n = 0$, i 为 CCE 编号, 每个 CCE 包含 9 个资源元素组(Resource Element Group, REG), 每个 REG 包含 4 个

* 国家科技重大专项(2009ZX03002-009)

资源元素(Resource Element, RE),也就是一个 CCE 是包含 36 个 RE,72 个比特信息的连续资源块。在系统带宽和用于 PDCCH 的 OFDM 符号数量确定后,从总的 RE 数量中减去 PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel),PHICH(Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel)以及参考信号所占的 RE 数目,再除以 36 即可得到一个子帧中总的 CCE 个数,编号从 $0 \sim N_{\text{CCE}}-1$,其中 $N_{\text{CCE}} = N_{\text{REG}}/9$, N_{REG} 为子帧中未分配给 PCFICH 和 PHICH 的资源元素组。PDCCH 支持 4 种格式:格式 0,1,2,3 分别对应的 CCE 个数为 1,2,4,8。

通常情况下,PDCCH 可以配置为占用一个子帧的前 3 个 OFDM 符号,频域延伸到整个带宽,多个 PDCCH 可以复用在 1 个子帧中传输。如果子帧中包含有 MBSFN 传

输,那么可能有 0,1 或 2 个控制信息符号;如果是窄带系统,即资源块数小于 10,那么控制符号数就要增加,可能是 2,3 或 4 个,从而确保小区边缘的覆盖。

3 PDCCH 发送与接收流程

根据 3GPP 协议 36.211,36.212,36.213,可画出 PDCCH 发送与接收流程,如图 1 所示。当媒体接入控制层(MAC)用 PDCCH 来指示无线资源分配时,发送端首先从 MAC 获取 DCI 格式信息,进行 CRC 添加,同时用相应的 RNTI 对添加的 CRC 进行加扰。对于 DCI 格式 0,如果终端配置并应用了发射天线选择,那么 CRC 将被天线选择掩码和 RNTI 一起加扰,映射到 DCI 格式的 RNTI 取决于逻辑信道的类型^[9],如表 1 所示。

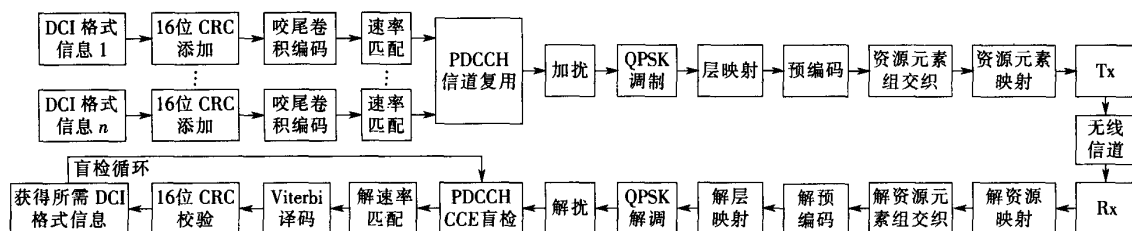


图 1 LTE 物理下行控制信道发送与接收流程

表 1 逻辑信道与 RNTI 的对应关系

逻辑信道	RNTI
DCCH, DTCH	C-RNTI, Temporary C-RNTI, SemiPersistent C-RNTI
PCCH	P-RNTI
RA Response on DL-SCH	RA-RNTI
CCCH	Temporary C-RNTI
BCCH	SI-RNTI

CRC 添加后对数据进行 1/3 的尾尾卷积编码、速率匹配,如果有多个 PDCCH 传输,则必须进行 PDCCH 信道复用,即将各信道速率匹配之后的数据进行级联 $b^{(0)}(0), \dots, b^{(0)}(M_{\text{bit}}^{(0)}-1), b^{(1)}(0), \dots, b^{(1)}(M_{\text{bit}}^{(1)}-1), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}}-1)}(0), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}}-1)}(M_{\text{bit}}^{(n_{\text{PDCCH}}-1)}-1)$,其中 n_{PDCCH} 为同一子帧中的 PD-CCH 编号,如图 2 所示。编号为 n 的 CCE 对应于比特 $b(72n), b(72n+1), \dots, b(72n+71)$,如果有必要的话,在复用之前需添加<NIL>元素以确保各 PDCCH 为 CCE 的整数倍^[9]。接着将信道复用后的数据进行加扰、调制、层映射、预编码、REG 交织、资源映射,最后通过天线端发送。接收端基本上为发送端的逆过程,只是在解信道复用时采用盲检方式对所有 PDCCH 进行搜索。

4 PDCCH 调度过程

PDCCH 调度过程即为网络端对 PDCCH 配置的过

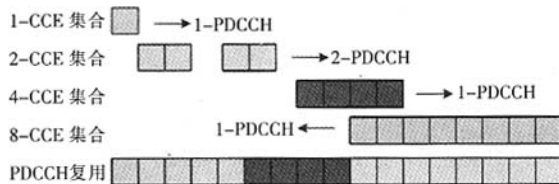


图 2 PDCCH 信道复用

程,此过程决定了 PDCCH 内容和格式,详细过程为:

- 1) 基于信道质量测量、调度请求(SR)和缓冲状态报告信息(BSR),决定在上行链路中哪些 UE 应分配资源,应分配哪些资源。
- 2) 基于信道质量指示报告、MIMO、秩指示(Rank Indication)和优先的预编码矩阵信息,决定在下行链路中哪些 UE 应配置为分组传输。
- 3) 标识所有必须的公共控制信道信息,如用于 DCI 格式 3 的功率控制命令。
- 4) 为每个 DCI 信息决定 PDCCH 格式(即 1,2,4 或 8 CCE),使用所有的功率偏移以至信息到达预期的 UE 足够可靠,尽可能地最小化 PDCCH 头。
- 5) 决定 PDCCH 资源数量及来承载这些 PDCCH 的 OFDM 符号数量,并将所需 OFDM 符号数告知 PCFICH。
- 6) 在合适的搜索空间将每个 PDCCH 映射到 CCE 位

置处。

7) 如果 PDCCH 因为其相关的搜索空间已经被分配而不能被映射到 CCE 位置,可以接受一个或多个 PDCCH 不能被传输的损失,继续步骤 8);也可以再分配一个 OFDM 符号来承载必要的 PDCCH,并且根据情况重新执行步骤 1)和步骤 2),改变 UE 选择和资源配置。

8) 为 PCFICH 和 PHICH 分配必要的资源。

9) 为 PDCCH 分配资源。

10) 确定每个 OFDM 符号的总功率值没有超过允许的最大值,如果必要的话可以作适当调整。

11) 发送下行控制信道 PDCCH。

5 PDCCH 信道盲检

通常情况下,终端不知道当前 PDCCH 传送的是什么格式的 DCI 信息,也不知道自己需要的信息在哪个位置。但是终端知道自己当前需要的信息,例如在空闲状态下终端期待寻呼信息和系统信息;发起随机接入前导后期待随机接入响应信息;在有上行数据等待发送的时候期待上行授权信息等。对于不同的期望信息终端将用相应的 RNTI 去解扰 CRC, 然后进行 CRC 校验, 如果校验成功,那么终端就知道这个信息是自己需要的,也知道相应

的 DCI 格式,从而进一步解出 DCI 内容,这个过程称为盲检过程。

5.1 搜索空间

CCE 的结构有助于减少 PDCCH 盲检尝试次数,但是这还不够,必须采取一种有效的机制来限制终端监视的 CCE 集合。从调度的角度看,限制 CCE 集合是不可取的,因为这样可能影响发送端的调度灵活性以及需要额外的处理过程,同时从终端复杂度的角度看,要求终端监视所有可能的 CCE 集合,特别是在一个较大的小区带宽,这是不合理的^[9]。LTE 定义搜索空间(Search Space)来尽可能地减少 CCE 集合,从而减少终端对 PDCCH 的盲检次数。搜索空间就是 UE 假定应监视的 CCE 的集合。

假定终端按照某个给定的集合等级进行盲检尝试,搜索空间就是 CCE 按这个给定的集合等级组成的一系列候选 PDCCH。由于 CCE 集合等级分为 1,2,4,8,...,因此一个终端有多个搜索空间,在每个子帧,终端将尝试监视它的搜索空间中所有候选 PDCCH。如果 CRC 检验成功,则该候选 PDCCH 的内容是有效的,终端将处理该控制信道的信息。显然,如果控制信息仅在其中一个终端的搜索空间的 PDCCH 传输,那么网络将只能标识一个终端。搜索空间原理如图 3 所示。

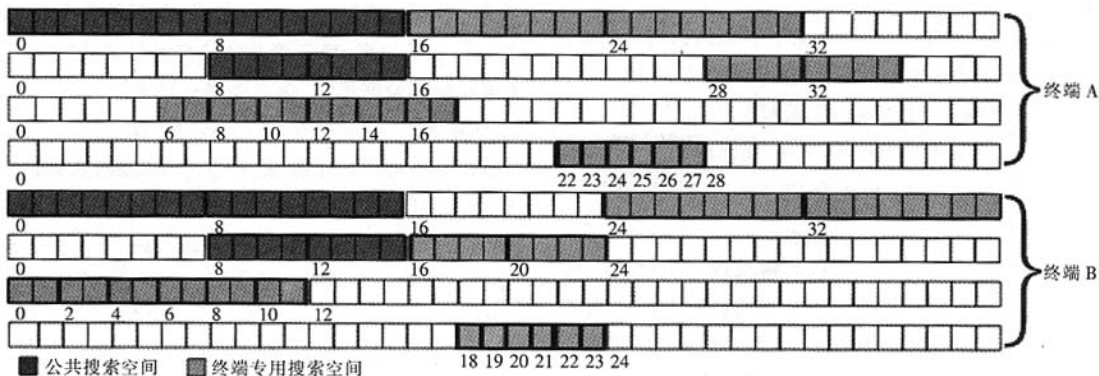


图 3 2 个终端的公共搜索空间和终端专用搜索空间原理

如果 PDCCH 从标号为 20 的 CCE 开始,则终端 A 不能被标识,而终端 B 可以。另外终端 B 的调度 CCE 为 16~23,另一个终端 C 的调度为 8~15,那么终端 A 将不能在 CCE 集合等级为 4 的 PDCCH 上标识,因为在它的所有空间中集合等级为 4 的 CCE 被其他的终端占用,所以,若要有效地利用系统的 CCE,各个终端的搜索空间应各不相同。在每个 CCE 集合等级上,系统中的每个终端都有一个专用的搜索空间,其中被监视的 DCI 格式取决于传输模式。如果终端没有配置空分复用模式,那么就没有必要监视 DCI 格式 2,2A。

终端的搜索空间没有被明确的告知,而是由一个以终端 ID 和子帧号为变量的函数定义,这样,终端的搜索空间就是时变的,有利于消除终端之间搜索空间的相互拥塞。在相同的子帧上,如果一个指定终端监视的所有的 CCE 都被别的终端占用,那么它将不能被调度,因此时变的搜索空间就可能在下一个子帧中解决这个问题^[9]。

在很多的情况下,系统需要标识一组或所有的终端。例如系统的动态调度、寻呼信息的传输、传输一个明确指示的功率控制命令等。在专用搜索空间的基础上,LTE 定义了公共搜索空间,从而允许所有的终端同时被标识。公

共搜索空间就是指小区中的所有终端都监视相同搜索空间中的 CCE,从而获得控制信息,与此同时,公共搜索空间也可以用于单个终端的调度。例如,它可以解决当一个终端因为在专用搜索空间缺乏可用资源而被拥塞的情况。公共搜索空间仅定义了 CCE 集合等级为 4 和 8 两种情况,仅用于 DCI 格式 0,1A,1C,3 和 3A,不支持用于空分复用模式的 DCI 格式,这样有利于减少终端监视公共搜索空间的盲检尝试次数。图 3 给出了某一子帧中两个终端的专用搜索空间和公共搜索空间,可以看出两个终端的专用搜索空间是不同的,而且将随着子帧的变化而变化。同时,当 CCE 集合等级为 8 时,在 CCE 为 24~31 处,两个终端的专用搜索空间发生了重叠,随着子帧的变化,重叠部分也将跟随着变化。

5.2 盲检过程

通过对 PDCCH 调度过程以及搜索空间的分析,PCFICH 和 PHICH 在接收 PBCH 获得系统同步后就可以成功接收,那么可以得到 PDCCH 信道盲检过程为:

1) 根据 PCFICH 的 CFI 值确定 PDCCH 所占控制域的 OFDM 符号数,将此符号数乘以下行带宽 N_{RB}^{DL} ,再乘以 N_{sc}^{RB} ,减去参考信号 RS 占用的 RE 数目,得到控制域内总的 RE 数目。

2) 计算的 PCFICH 与 PHICH 在控制域内所占的 RE 数目及时频位置,将它们占用的 RE 数目从总的 RE 数目中扣除,得到 PDCCH 所占的 RE 数目。

3) 在解资源映射模块中,从控制域中取出 PDCCH 的 RE,遇到 PCFICH,PHICH 及 RS 的位置跳过,还原资源元素组 REG。

4) 将接收到的数据依次经过解资源元素组交织模块、解预编码模块、解层映射模块、解 QPSK 调制模块以及解扰模块,得到发送端 PDCCH 信道复用后的数据流。

5) 将得到的数据流的长度除以 72,得到复用 PDCCH 总的 CCE 数目 $N_{CCE,k}$,将得到的 CCE 从 $0 \sim N_{CCE,k}-1$ 编号, k 表示当前子帧号。由于发送端保证了数据为 CCE 的整数倍,因此,此处得到的数据也是 CCE 的整数倍。

6) 根据终端所期待的 DCI 信息,确定用于 CRC 解扰的 RNTI,确定 CCE 搜索空间。

7) 根据 $S_k^{(L)} = L \cdot \{(Y_k + m) \bmod [N_{CCE,k}/L]\} + i$ 计算搜索空间的起始位置,其中 $i=0,1,\dots,L-1, m=0,1,\dots,M^{(L)}-1, M^{(L)}$ 为给定搜索空间需要监控的候选 PDCCH 数目,即不同 CCE 集合等级 L 情况下需要搜索的总次数,如表 2 所示。

表 2 终端监视的候选 PDCCH 数目

类型	搜索空间 $S_k^{(L)}$		PDCCH 候选个数 $M^{(L)}$
	CCE 集合等级 L	CCE 空间大小	
终端搜索空间	1	6	6
	2	12	6
	4	8	2
	8	16	2
公共搜索空间	4	16	4
	8	16	2

对于公共搜索空间, L 取值为 4 和 8, $Y_k=0$;对于终端专用搜索空间, L 取值为 1,2,4,8, $Y_k=(A \cdot Y_{k-1}) \bmod D$,其中, $Y_{k-1}=n_{RNTI} \neq 0, A=39\ 827, D=65\ 537, k=n_s/2, n_s$ 为时隙号。

8) 根据集合等级 L 在相应的搜索空间的起始位置读取 CCE,由于不知道具体的搜索等级,所以终端必须将搜索空间中的所有集合等级逐一尝试。以终端专用搜索空间为例,如图 4 所示。CCE 集合等级为 1 时,在搜索空间的起始位置读取一个 CCE,这个 CCE 就是一个候选 PDCCH,将读取的数据进行解速率匹配(如果有<NUL>元素应先去除)、Viterbi 译码,然后再将得到数据的最后 16 个比特进行 RNTI 解扰,例如在随机接入响应信息接收时,就用 RA-RNTI 解扰,最后将解扰后的数据放回原始位置,对整个数据进行 CRC 校验,如果校验成功,则根据 DCI 格式的长度,确定该 DCI 信息的格式,对于 DCI 格式 0 和 1A,其长度相同,必须用 Flag 比特来区别。如果确定是期望的信息,则接收;否则,放弃此次搜索,搜索起始位置加 L ,重复以上过程,进行下一次搜索,直到搜索完当前空间中的所有候选 PDCCH。如果 CCE 集合等级 $L=1$ 搜索结束都没有得到想要的 DCI 信息,那么回到步骤 7) 重新计算搜索空间的起始位置,进行下一个集合等级 $L=2$ 的搜索,以此类推,直到解出终端想要的 DCI 信息或盲检完所有的结合等级,盲检结束。

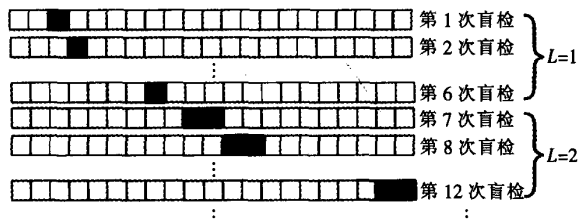


图 4 终端专用搜索空间 PDCCH 盲检尝试

6 小结

笔者从 LTE 系统 PDCCH 信道发送与接收流程出发,根据 PDCCH 信道结构和 DCI 信息格式,详细分析了

PDCCH 的搜索空间,为 PDCCH 信道的接收拟定了详细的盲检步骤,为实际系统的实现提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 3GPP TS 36.211 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); physical channels and modulation[S]. Release 8.2009.
- [2] 3GPP TS 36.212 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); multiplexing and channel coding[S]. Release 8.2009.
- [3] 3GPP TS 36.321 V8.6.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control(MAC) protocol specification[S]. Release 8.2009.
- [4] 3GPP TS 36.213 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); physical layer procedures[S]. Release 8.2009.

- [5] SESIA S, TOUFIK I, BAKER M. LTE, The UMTS long term evolution: from theory to practice[M]. Great Britain: A John Wiley and Sons Ltd Press, 2009: 189-205.
- [6] DAHLMAN E, PARKVALL S, SKOLD J, et al. 3G evolution HSPA and LTE for mobile broadband[M]. second edition. USA: Academic Press, 2008: 330-357.

作者简介:

罗友宝(1985-), 硕士生, 主研 TD-LTE 系统物理层算法 DSP 软件开发;

李小文(1955-), 硕士生导师, 教授, 研究员, 主研 TD-SCDMA 移动通信系统开发;

吴云梅(1986-), 女, 硕士生, 主研 TD-LTE 系统协议栈。

责任编辑: 孙卓

收稿日期: 2010-03-01

(上接第 74 页)

如果随机接入成功, RRC 就会要求 MAC 进入正常连接状态, RRC 会配给 MAC 小区、RB 标识和上行共享配置。

4.5 CON 状态

随机接入成功, UE 进入正常的连接状态。在正常的连接状态下, 用户的移动性可能造成小区间的切换, 当有切换存在时, RRC 重新配置 MAC, 使其仍然处于正常的连接状态, 连接重配置成功, RRC 也会重新配置 MAC。

在正常的连接情况下, 连接重配置失败、完整性失败或者切换失败都会造成 UE 重新回到小区 SEL 状态, RRC 就会指示 MAC 释放低层资源回到 NUL 状态。CON 状态转移如图 5 所示。

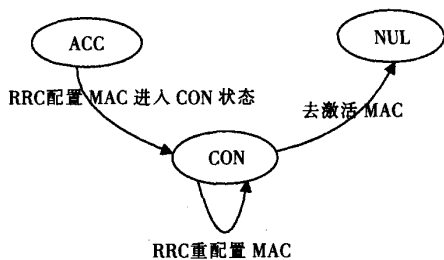


图 5 CON 状态转移图

5 小结

对用户端 MAC 状态进行了研究, UE 从开机到呼叫结束, MAC 经历了 5 个状态。笔者详细分析了各个状态相互转换的条件, 便于 MAC 数据传输和资源管理, 为 RLC 到物理层正常过渡提供了桥梁, 有助于 LTE 系统功能实现。

参考文献:

- [1] 张克平. LTE-B3G/4G 移动通信系统无线技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] 沈嘉, 索士强, 全海洋, 等. 3GPP 长期演进技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [3] LESCUYER P, LCUIDARME T. 演进分组系统(EPS): 3G UMTS 的长期演进和系统结构演进[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 3GPP. TS 36.321 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Medium Access Control (MAC) protocol specification[S]. 2009.
- [5] 3GPP. TS 36.300 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)[S]. 2008.
- [6] 3GPP. TS 36.331 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Radio Resource Control (RRC)[S]. 2009.
- [7] 3GPP. TS 36.133 V8.7.0, 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) requirements for support of radio resource management[S]. 2009.

作者简介:

文武(1970-), 工程硕士, 高级工程师, 硕士生导师, 主研通信工程;

牛丹丹(1985-), 女, 硕士生, 主研 LTE 协议栈。

责任编辑: 孙卓

收稿日期: 2010-06-17