

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3824.2011.01.013

LTE协议栈 RLC层的研究与实现

李贵勇, 赵国会

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 针对 3GPP 最新发布的 LTE Release 8 标准, 研究了 LTE 空中接口协议栈的重要组成部分 RLC 子层的协议, 详细阐述了空中接口协议栈中无线链路控制 RLC 子层的功能和数据传输过程, 在此基础上以 SDU 分段成 AM PDU 为例, 提出了一种实现 RLC 高速的数据通路的方法。
关键词: LTE 协议栈; E-UTRAN; RLC; ARQ

0 引言

LTE(long term evolution)是 3G 的演进, 它改进并增强了 3G 的空中接口技术, 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^[1]。

提供高速数据通信正是第三代移动通信系统的基本特征之一, 而无线链路控制协议(radio link control, RLC)正是实现 LTE 系统的重要组成部分^[2]。由于移动通信传输介质的质量较差, 因此 RLC 在无线传输中起着重要的作用, 通过采用有选择的自动请求重传(ARQ, automatic repeat request)机制实现对空口无线链路的控制。RLC 的 ARQ 机制可以恢复丢失的数据单元或接收错误的数据单元, 增强数据在无线通信中传输的可靠性和高效性。

1 RLC 层总体模型和功能

1.1 RLC 总体模型

RLC 总体模型如图 1 所示。RLC 模型中对于透明模式数据传输存在 1 个发送实例和 1 个接收实例, 而对于确认模式数据传输必定同时存在 1 个发送侧和 1 个接收侧。对于非确认模式实例而言, 可能是单向的实例也可能是双向的实例。

LTE 协议栈 RLC 子层的功能由 RLC 实体实现,

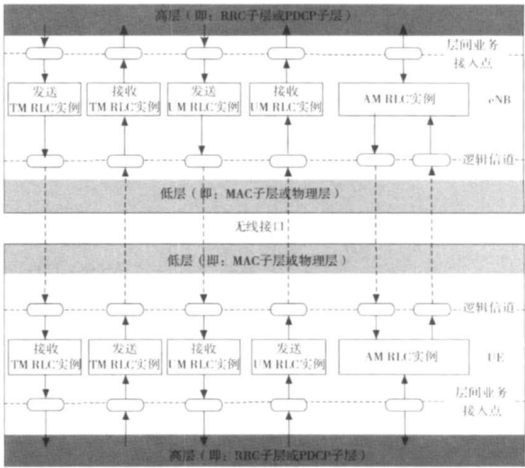


图 1 RLC 总体模型

RRC 层负责对 RLC 层进行配置。RLC 层主要由 RLC 实体组成, 一共包括 5 个实体, 分别是 TM 发送实体、TM 接收实体和 UM 发送实体、UM 接收实体和 AM 实体。对于在 eNB 端配置的 RLC 实体, 在 UE 端也配置了一个同等的 RLC 实体, 反之亦然。RLC 实体从上层(RRC/RDCP)接收 RLC SDU 并通过下层(MAC 和物理层)将 RLC PDU 发送给对端的 RLC 实体, 反之亦然。1 个 RLC PDU 可以是 RLC 数据 PDU 也可以是 RLC 控制 PDU。如果 1 个 RLC 实体从高层接收到 RLC SDU 它是通过 RLC 和高层的服务接入点(SAP)接收的, 当将 SDU 转化成 PDU 后, RLC 实体通过逻辑信道向下层传输 RLC 数据 PDU 反之亦然。传输 RLC 控制 PDU 与传输其对应

收稿日期: 2010-07-24

的数据 PDU用的逻辑信道相同。

1.2 PDU组装和 SDU重组

RLC将收到的 RLC SDU进行组装, 根据上个 TT内 MAC层在发送通知中上报的可用上行资源的大小来组装 RLC PDU在组装的过程中可能存在 SDU的分段、级联。不同的 RLC PDU通过序列号 SN来辨别。为保证接收实例能正确地将 PDU重组为 SDU在组装 HDU的时候, 一定要正确填写每个 PDU的控制信息(头信息): 头信息分为固定部分和扩展部分, 其中固定部分在每个 PDU中必须出现, 而扩展部分在每个 HDU中不一定出现, 且扩展部分在每个 PDU中完全可能不一样。RLC数据传输如图 2所示。

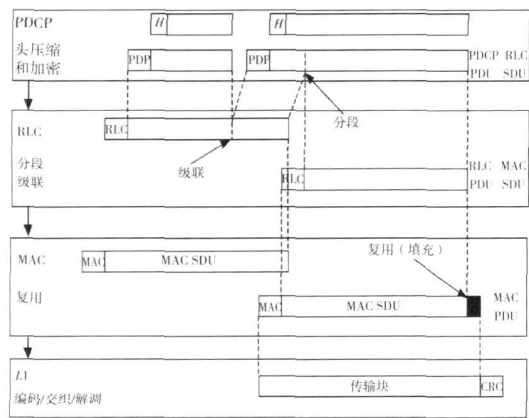


图 2 RLC 数据传输

组装好 RLC HDU后, RLC通过逻辑信道 CCCH (SRB₀)上的数据)、DTCH(DRB上的数据)或 DCCH (SRB₁, SRB₂上的数据)把 PDU传送到 MAC层。对于 AM模式的数据传输, 在发送 HDU到 MAC之前, 要对 RLC PDU做一个备份存储在重传缓存中, 以便数据丢失时进行数据重传, 直到收到接收方状态报告的确认后才从重传缓存中丢掉。为提高信道利用率, 在每个 TT内, 最多发送一个 MAC HDU

1.3 控制 PDU的触发和组装

控制 PDU的触发条件分为接收端触发和发送端触发。接收端触发是检测到有 HDU在底层丢失才会在 RLC的发送侧触发状态报告的组装; 发送端触发是根据发送端的轮询机制对 HDU头中的 P字段进行设置, 接收方收到 P值为 1的 HDU时候, 在 RLC的发送侧触发状态报告的组装。根据协议, 对状态报告既不能分段也不能级联, 一个状态报告就是一个 RLC PDU。在符合状态报告发送条件下, 才

组装状态报告并向 MAC层发送。

1.4 RLC中的 ARQ机制

RLC层中的自动请求重传 (ARQ)机制与状态报告和轮询机制紧密相关, 它们是保证 UE端数据正确、高速传输的必要举措。RLC根据收到的来自网络的状态报告对重传缓存中的数据进行处理, 将已经被正确接收的 HDU从重传缓存中丢掉, 并把确认收到的 HDUs中的 SDU上报 PDCP, 由 PDCP丢弃 PDCP重传缓存中相应的 SDU。对于需要重传的 HDU进行重传, 重传数据的格式分为 AMD HDU和 AMD PDU segment 2种。此外, 在达到最大重传次数后, RLC具备向高层 RRC报告无线链路失败的功能。

2 RLC消息流程

LTE协议过程的描述是基于有限状态机的思想, 有限状态机包括 3个要素: 状态、消息和动作。图 3为 RLC消息流程图。在设计 RLC子层时, 将 RLC所有传输划分为空 (RLC_NULL)和传输 (RLC_TRAN) 2个状态, 此外对于 UM和 AM模式还有挂起 (RLC_SUSPEND)状态。RLC采用消息触发机制, 根据接收到的 RRC/PDCP和 MAC消息, 触发 RLC相应过程。RLC初始状态为 RLC_NULL, 经过 RRC配置信息进入正常数据传输状态 RLC_TRAN。在具体实现时, RLC所有配置信息, 包括传输模式、UM模式下的 SN长度、各种定时器的值等都由 RRC配置。RLC主要负责 RRC和 MAC之间的透明模式下的 PDU的组装、SDU重组工作, PDCP和 MAC之间的确认和非确认模式下 PDU的组装、SDU重组工作, 同时通过选择重传达到后向纠错的目的。正常情况的链路释放由上层发起, 在异常情况, 如达到最大重传次数, RLC主动向 RRC上报无线链路失败^[3-5]。

3 RLC数据传输

RLC在收到来自高层 HDUP(针对 UM/AM)/RRC(针对 TM)的 RLC SDU后, 直接将收到的 RLC SDU保存在发送缓存中, 在 RLC层需要发送数据的时候, 根据可用的上行资源和当前 RLC实例发送缓存中 SDU的情况组装 HDU。组装 HDU的过程可能包括分段/级联或兼而有之。该方案比较简单, 易实现。

3.1 确认模式的操作

收到 MAC的数据发送时机时, RLC将根据协议中的数据传输优先级优先发送状态报告, 然后是

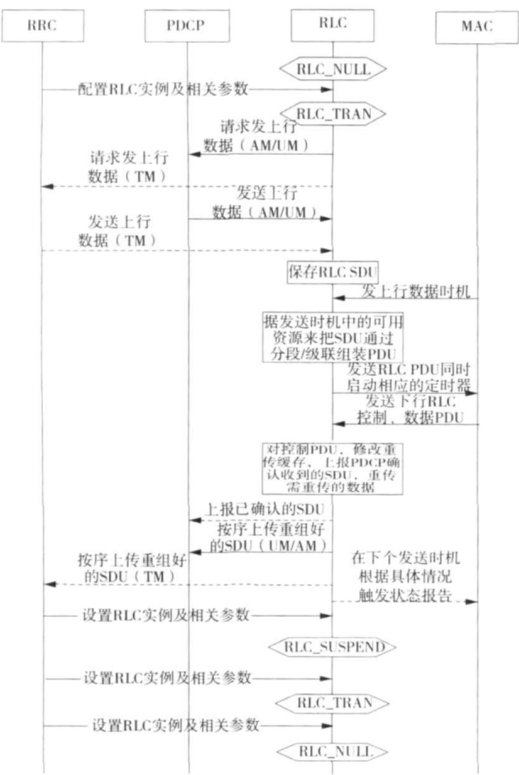


图 3 RLC消息流程图

被确认要重传的数据，最后是新组装的 RLC PDU。对于新组装的 RLC PDU，应在发送到 MAC 层之前在重传缓存中进行备份。

RLC 收到从接收方发来的确认信息，可能会触发 AMD PDU 或 AMD PDU segment 的重传，对于收到 ACK（确认对方收到）的 PDU 从重传缓冲区中删除，并把这些已确认的 PDU 中的 SDU 上报 PDCP，由 PDCP 对这些数据进行相应失败的操作。

确认实体的接收方将通过 MAC 层的一个逻辑信道 DTCH/DCCH 接收 RLC PDU。接收方接收到的 RLC PDU 分为 2 种：一种为数据 PDU，另一种为控制 PDU。当接收到数据 PDU 后，RLC 将首先分析该 RLC PDU 的头信息，解析 RLC PDU 重组为 RLC SDU。在收到一个完整的 RLC SDU 前，它将一直放在接收缓存中，如果检查到有部分 SDU 的数据丢失，通过给对等实体发送下行状态报告，请求对应的 RLC 实例进行相关 RLC 数据的重传。如果达到最大重传次数后，还没有收到相应的数据，RLC 就主动上报 RRC 无线链路失败。若接收到一个完整的 RLC PDU，在满足由 PDU 重组的条件时，就进行 RLC PDU 到 RLC SDU 的重组，并将重组后的 SDU 上交至高层 PDCP（AM/UM）或 RRC（TM）。如果接收到的是控制

PDU，则送至 RLC 控制单元进行处理。

3.2 非确认模式的操作

非确认模式实例发送方的处理和确认模式类似，不同的是非确认模式不需要重传缓存和来自对等实体的状态报告。

接收方 UM 实体通过逻辑信道 DTCH 从 MAC 层接收 RLC PDU。接收到 RLC PDU 后，RLC 根据 PDU 的头信息，解析 RLC PDU 将 PDU 重组为 RLC SDU。即使检查到有 RLC PDU 丢失时，也不进行数据的重传。若能组装成一个完整的 RLC SDU 就传给高层 PDCP，删除不能重组为一个完整 SDU 的部分。

3.3 透明模式的操作

透明模式实例的发送方直接接收来自 RRC 的数据，因为透明模式实例是对应 SRB 的实例，仅应用于 SRB 建立之前的场景。收到来自 RRC 的数据后，保存在发送缓存中，在收到 MAC 层的发送通知后，1 个 TT 内只发送一个 RLC PDU。TM 模式下的 PDU 由 RLC SDU 直接转换而来，不需要进行任何操作，且 TM 模式同样不需要重传缓存和来自对等实体的状态报告。

接收方 TM 实体通过逻辑信道 CCCH 从 MAC 层接收 RLC PDU 后，不经过任何处理，直接将 RLC PDU（RLC SDU）送到高层 RRC 去。

4 RLC 内存管理

LTE 系统要求能够在 20 MHz 带宽内实现 100 Mbit/s 的下行峰值速率和 50 Mbit/s 的上行峰值速率，同时要求在“零负载”和“小包”的情况下用户面单向延时控制在 5 ms 以下^[6]。故而 LTE 系统数据传输的高速性对数据通路的设计性能提出了要求，应尽量避免设计方案造成的数据处理时间较长情况的发生。

RLC 子层是 LTE 系统数据通路的核心组成部分，终端的 RLC 层负责把上行 RLC SDU 组装成上行 RLC PDU 和把下行 RLC PDU 重组为下行 RLC SDU。在由 SDU 组装成 PDU 的过程中，涉及到对 SDU 的级联和（或）分段的操作，这取决于可用的上行资源的大小；对于组装重传 PDU 或 PDU segment 取决于下行状态报告中要求重传的信息和可用的上行资源大小。RLC 层实现的重点和难点是：SDU 分段成 PDU 的实现，由 PDU 重组为一个完整

SDU的实现, AMD PDU segmen再分段成 AMD PDU segmen的实现, 由 AMD PDU segmen重组为一个完整 SDU的实现。本文以 SDU分段成 AM PDU的实现为例, 说明怎样设计 RLC来实现高速的数据通路。

首先定义 RLC向 MAC发送信息原语的结构 T_MAC_DATA_REQ该结构用于向 MAC层发送上行 PDU的相关信息, T_MAC_DATA_REQ的结构如下所述。

```
typedef struct
{
    u8 PduType;
    u8 rblentify;
    u32 PPdu_data;
    u16 PduSize;
    u8 retransCounter;
    u8 macSubHeader;
} T_MAC_DATA_REQ;
```

上行 PDU缓存在 RLC AM模式实例需要组装 PDU的时候进行动态申请, 对上行 PDU缓存用链表进行管理^[7]。上行 PDU缓存的管理方式如图 4所示。

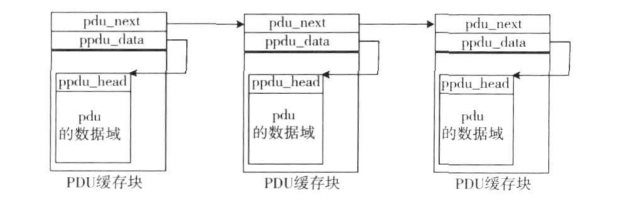


图 4 上行 PDU缓存

SDU经分段组装成 PDU的实现方案是: 在收到来自 MAC层的发送通知后, 根据 MAC层上报的上行资源的大小把 SDU分段成 PDU, 同时根据可用的上行资源大小动态申请一块 PDU缓存, 在组装 PDU的时候把 SDU相应部分的数据搬移到 PDU的数据域中。当递交到 MAC后, MAC通过结构中的 PDU地址 PPdu_data和 PDU的大小 PduSize, 实现 MAC PDU的组装。当 PDU重传时, 直接传递该 PDU的指针到 MAC即可。通过这种方式实现了 RLC层到 MAC层之间的数据高速传输。

上述方案的优点是实现简单且数据传输的可靠性高, 虽然 RLC存在一次数据搬移, 但是可以采用硬件加速器来减少在数据处理上花费的时间, 以达到 LTE高速数据处理的要求。

5 结束语

根据 LTE系统^[8]的要求, 本文研究了 RLC协议, 提出数据传输的实现方案^[9]。经实践证明, 提出的实现方案在保证 LTE高速数据传输可靠性的同时减少了在数据传输过程对数据处理的不必要耗时, 满足了 LTE系统数据传输的高速性对数据通路的设计性能提出的要求。

参考文献:

[1] SIEFAIA S TOUFIK L MATTHEW B LTE_ The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice [EB/OL]. (2009-12-01) [2010-03-15]. <http://download.csdn.net/source/1941542>

[2] 李小文, 李贵勇, 陈贤亮, 等. 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. 168-188

[3] 3GPP TS36 321V8 8 0 Medium Access Control (MAC) protocol specification [EB/OL]. (2009-06-01) [2010-03-15]. <http://wenku.baidu.com/view/cd58160203d8ce2006623d4.html>

[4] 3GPP TS36 323V8 6 0 Packet Data Convergence Protocol (PDCP) <http://www.3gpp.org/Specifications/> [EB/OL]. (2009-06-01) [2010-03-15]. [http://PacketDataConvergenceProtocol\(PDCP\)specification](http://PacketDataConvergenceProtocol(PDCP)specification)

[5] 3GPP TS 36 322V8 7 0 Radio Link Control (RLC) protocol specification [EB/OL]. (2009-09-01) [2010-03-15]. <http://wenku.baidu.com/view/9c213893daef5ef7b0d3cd7.html>

[6] 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. 34

[7] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构 (C语言版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 35-39

[8] 龚兵, 邓正其. LTE系统中的MMO检测算法[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2009. 23(9): 115-117.

[9] 龚珏, 雒江涛, 张治中. TD-SCDMA测试仪中Iub接口实现RLC层信令解码[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2007. 19(1): 28-34

作者简介:

李贵勇 (1973—), 男, 重庆人, 高级工程师, 硕士生导师, 主要研究方向为移动通信; 赵国会 (1984—), 男, 河南人, 主要研究方向为 LTE终端协议栈的研究与实现。