

# 基于 ARM+DSP 的 3GPP 移动通信系统标准 MAC 层设计

徐 军, 张晓宇, 王秀艳

(华北科技学院 电信工程学院, 河北 燕郊 065201)

**摘要:** 目前高校通信类专业所用实验设备主要完成调制、交织、信道编码和系统信令实验, 较难配合 3GPP 标准来完成教学和科研及课程设计及毕业设计任务; 在充分研究 3GPP 标准文档后, 在自主开发的 ARM 和 DSP 单板上完成了 3G 系统 UE, NODEB, RNC 的协议开发及 4G 系统的终端及网络侧的协议开发; 文中对 MAC 层协议的功能及算法的具体实现进行了研究, 包括 MAC 的发送控制、接收控制、业务量测量等 MAC 主要功能; 实现了符合 3GPP 标准的移动通信系统教学与研究平台, 并跟踪整个系统的运行; 较好地配合了教学和科研工作, 对 3GPP 标准的演进过程的跟踪教学与研究也有一定作用。

**关键词:** 第三代合作伙伴项目; 介质访问控制层; 协议

## 3GPP Mobile Communication System Standard MAC Layer Design Based on ARM + DSP

Xu Jun, Zhang Xiaoyu, Wang Xiuyan

(School of Telecommunications Engineering, North China Institute of Science and Technology, Yanjiao 065201, China)

**Abstract:** Experimental equipment is mainly used in communication engineering in colleges and universities, interleaving, channel coding and modulation system signaling experiment, difficult to cooperate with the 3GPP standards to complete the teaching and scientific research and the course design and graduation design task. After fully research 3 GPP standard document on the independent development of ARM and DSP veneer UE, completed the 3 G system NODEB, RNC protocol development and 4 G system terminals and network development side of the agreement. Function and algorithm of MAC layer protocol in this paper the concrete realization are studied, including MAC control sending and receiving control, MAC main functions such as volume measurement. The realization of the mobile communication system of teaching and research platform with 3GPP standard, and follow the whole system operation. Cooperate with the teaching and scientific research work. Tracking the process of the evolution of the 3 GPP standard teaching and research also has certain effect.

**Keywords:** 3rd generation partnership project; MAC; protocol

## 0 引言

文献 [1] 用 ARM 和 DSP 实现了语音通信系统。而在文献 [2] 中整个网络编码传输系统是基于 802.16 协议设计和实现的, 终端的程序可以设计分成 3 个主要部分: 物理层, MAC (媒体接入控制) 层, 显示界面。物理层和 MAC 层功能都是在 pichip 公司的 PC205 芯片上实现。基于嵌入式 linux 系统, 显示界面在 PC 上使用 MFC 编写完成, MAC 通过与 MFC 建立 socket, 实时传输数据参数。PC 机上还需使用一个程序用来控制产生上层需要发送的网络编码数据, 达到实际测试的目的。本文在自主开发的 ARM 和 DSP 单板上完成了 3G 系统 UE (用户设备), NODEB (基站), RNC (无线网络控制器) 的协议开发及 4G 系统的终端及网络侧的协议开发。

物理层主要完成数字信号的处理, 按物理层协议标准实现功能, 包括 CRC 校验、信道编码、星座映射、OFDM 调制、

上下行同步、功率控制、信道测量等等, 最后转给射频发送, 此部分由 DSP 和 FPGA 的硬件实现。高层协议则有 ARM 来实现, 本文就 MAC 层协议的具体实现进行了研究。

## 1 硬件结构

结构图如图 1 所示。系统主要芯片为 ARM 芯片, DSP 芯片, FPGA 芯片, 并含有一个 RS232 接口、网络接口及一个 FLASH 和两块 SDRAM。在 DSP 子系统中包含一个 FLASH、一块 SDRAM, FLASH 用于存放 DSP 系统的程序; 通过 JTAG 接口可以对 DSP 进行调试、下载 DSP 程序到 FLASH 中。DSP 系统通过 HPI 方式与 ARM 进行数据交互。ARM 芯

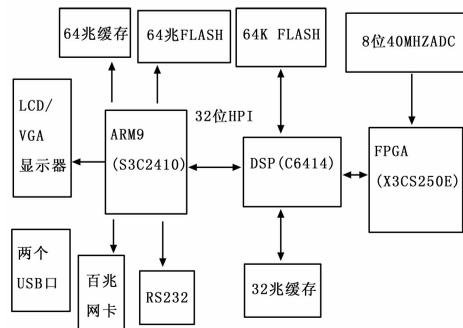


图 1 结构图

收稿日期: 2014-05-30; 修回日期: 2014-07-14;

基金项目: 国家自然科学基金(61304024); 中央高校基本业务经费(DX1201A)。

作者简介: 徐 军(1970-), 男, 湖南人, 博士, 高级工程师, 副教授, 主要从事移动通信系统与嵌入式系统方向的研究。

张晓宇(1978-), 男, 山东人, 博士, 副教授, 主要从事智能控制方向的研究。

片可以使用 LINUX 操作系统和 VXWORKS 操作系统, 3G, 4G 移动通信系统协议栈 L2, L3, NAS 层的实现在 ARM 上实现。DSP 和 FPGA 用于实现物理层算法。

## 2 软件结构

MAC 实体在 UE 中和在 UTRAN 中的作用是不同的。在 UTRAN 侧, MAC-b 在 Node-b 中, MAC-d 和 MAC-c/sh 在 RNC 中。本文将从软件结构方面描述实现 MAC 层的一种方案。图 2 描述了 MAC 模块的功能划分图。MAC 层软件主要由配置模块, 发送模块, 接收模块和内部模块 4 个模块组成。

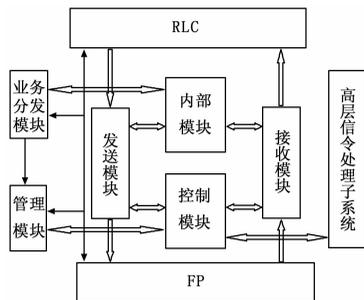


图 2 MAC 模块划分

依据 3GPP 协议需求规定<sup>[3-7]</sup>, MAC 层软件应能提供如下功能: 逻辑信道和传输信道间的映射(发送模块, 接收模块); 为传输信道选择传输格式(发送模块); UE 的业务数据流间的优先处理(发送模块); UE 间动态调度(内部模块); 公共传输信道上标识 UE(内部模块); 公共传输信道上高层 PDU 和传输块间的复用和解复用(发送模块, 接收模块); 专用传输信道上高层 PDU 和传输块间的复用和解复用(发送模块, 接收模块); 业务量的测量(发送模块); 传输信道类型动态切换(控制模块); 加密(发送模块); 解密(接收模块)。MAC 层通过逻辑信道为上层提供数据传输服务, 通过传输信道将数据传输给下一层。在 MAC 协议层内部主要完成逻辑信道到传输信道的映射, 传输信道的动态切换, 对透明模式的数据加密, 对 RLC PDUs 进行加头操作, RLC 与 MAC 之间, MAC-d 和 MAC-c/sh 之间都要进行流量控制。另外, MAC 还要完成业务量测量。MAC 层控制业务接入点用于传输控制信息到一个 UE 里的每一个 MAC 实体。

MAC-d 和 MAC-c/sh 位于 RNC 中, 在 UTRAN 中对应于每一个 UE 有一个 MAC-d。在 MAC-d 中, 要根据判定结果进行传输信道类型的动态切换。当多个逻辑信道复用到同一个传输信道上时, 需要在 MAC 字头中添加 C/T 域, 对逻辑信道上接收的数据设定优先级, 下行链路调度和加密。上行相反, 要进行解复用, 解密。在 UTRAN 中的每一个 CELL 对应于一个 MAC-c/sh。在 MAC-c/sh 中, 在下行信道插入 TCTF 域, 加 UE-id, 进行 TFC 选择, 为 MAC-d 提供流控。上行相反, 要进行解复用, 读 UE-id。

发送模块主要处理下行数据, 数据的来源有两部分, 一部分是从 RLC 接收到的业务数据, 一部分是业务分发模块经过内部模块转发的数据, 发送模块对这些数据进行 MAC 层的协议功能处理, 最终将数据给 FP。接收模块主要处理上行数据, 数据的来源有两部分, 一部分是从 FP 接收到的业务数据, 一部分是业务分发模块经过内部模块转发的数据, 接收模块对这些数据进行 MAC 层的协议功能处理, 最终将数据给 RLC。内部模块主要是处理 MAC-c/sh 和 MAC-d 之间的数据交互。控

制模块主要处理高层信令处理子系统的配置消息, 配置消息经过管理模块到达控制模块, 控制模块对配置消息进行解析, 并存储有用的信息到配置表中。在上下行数据处理过程中都需要从配置表获取信息。另外, 控制模块还会通过管理模块将一些控制消息或对配置消息的响应消息发给高层信令处理子系统。

### 2.1 控制模块功能设计

控制模块的主要任务是对 MAC 实体进行配置。MAC 接收到高层的控制消息后进行相对应的操作, 成功的话返回响应消息。另外在 MAC 软件运行过程中有可能会产生一些控制类消息发向高层。通过控制模块对配置消息的处理, 可以配置小区和用户。通过控制模块对重配置消息的处理, 可以达到传输信道动态切换, 改变逻辑信道优先级等。通过控制模块对测量消息的处理, 可以统计业务量的大小, 并将结果汇报给应用软件。通过对 RLC 通知数据的存储和修改, 提供服务给发送模块。

MAC 实体的配置: 申请 MAC 空闲实体资源; 根据配置信息填写参数; 生成响应消息发送给高层应用软件。MAC 实体的重配置: 找到当前的 MAC 实体, 根据配置信息重新填写参数; 生成响应消息发送给高层软件。MAC 实体的释放: 找到当前的 MAC 实体, 断开当前用户的连接, 删掉当前 MAC 实体, 释放当前 MAC 实体的所有资源, 生成响应消息发送给高层。业务量的测量: 进行测量配置, 根据测量配置进行业务量测量, 根据配置的报告时间进行报告。

### 2.2 发送模块功能设计

发送模块主要处理下行数据处理, 在 MAC 中下行处理是相当复杂的过程。MAC-c/sh 和 MAC-d 的处理过程是不同的, 下面将分开讲述。MAC-c/sh 中的处理过程如下所示:

- 1) RLC 在下个 TTI 到来之前会通知 MAC-c/sh 各个逻辑信道上的数据量, 通知的时刻由 RLC 控制, 控制模块对通知的数据进行存储和修改, RLC 可以根据业务量的变化多次通知 MAC-c/sh, 但至少在一个 TTI 内要通知一次。
- 2) 当 TTI 到来时, 发送模块会访问控制模块, 如果需要测量的话对业务量进行测量。
- 3) 根据控制模块和内部模块的信息, 判断是否有用户数据。
- 4) 进行 TFC 选择, 完成流量控制, 以保证良好的业务质量。
- 5) 将流量控制的结果返回给 RLC。
- 6) RLC 按照流量控制的结果对数据进行处理, 将可以发送的数据提交给 MAC。
- 7) MAC-c/sh 在拿到数据后, 如果有用户数据则加 UE\_ID\_TYPE 域, UE\_ID 域和 TCTF 域, 在特殊情况下可能不加 TCTF 域。如果没有用户数据则直接加 TCTF 域。
- 8) 将处理完的 MAC PDUs 发给 FP。

MAC-d 中的处理过程如下所示:

- 1) RLC 在下个 TTI 到来之前会通知 MAC-d 各个逻辑信道上的数据量, 通知的时刻由 RLC 控制, 控制模块对通知的数据进行存储和修改, RLC 可以根据业务量的变化多次通知 MAC-d, 但至少在一个 TTI 内要通知一次。如果有用户数据走公共传输信道, 则控制模块要通知相应的 MAC-c/sh。
- 2) 当 TTI 到来时, 发送模块会访问控制模块, 如果需要测量的话对业务量进行测量。
- 3) 对只走专用传输信道的数据进行 TFC 选择, 完成流量控制, 以保证良好的业务质量。
- 4) 将流量控制的结果返回给 RLC, 包括 MAC-c/sh 给 MAC-d 的或 MAC-d 本身的。
- 5) RLC 按照流量控制的结果对数据进行处理, 将可以发送的数据提交给 MAC。
- 6) MAC-d 在拿到数据后, 如果是走公共传输信道先加 C/T 域, 之后将数据给相应

的 MAC-c/sh。如果走专用传输信道则进行加 C/T 域处理，如果是 Tr 模式的数据在高层配置要求加密时进行加密处理。7) 将处理完的 MAC PDUs 发给 FP。

通过原语 MAC-DATA-REQ，MAC 子层接收来自 RLC 实体的 RLC PDU 和缓存器占用 (BO) 等参数。如果报告模式是事件触发，则 MAC 将把每个 TTI 的传输信道业务流量 (等效映射到一个传输信道上的逻辑信道的 BO 的总和) 和 RRC 所配置的门限 (Thu、Thl) 进行比较，如果超出了门限范围，则 MAC 将向 RRC 报告每个 RB 上的测量结果 (BO、BO 的均值及/或方差)；如果报告模式是周期性触发，则 MAC 将在每个报告间隔的末尾时刻向 RRC 报告每个 RB 上的测量结果。因此，RRC 可以知道每个逻辑信道和传输信道的业务流量状态，并据此对新的无线承载进行合适的配置。RRC 利用原语 CMAC-Measure-REQ 向 MAC 请求测量，MAC 则使用 CMAC-Measure-Ind 向 RRC 上报测量结果。

业务量测量的触发还与 Time-to-trigger 和 Pending time after trigger 两个参数有关。Time-to-trigger 用于标识测量报告滞后的时间范围，也就是说只有在 Time-to-trigger 时间范围内始终满足触发条件才会在定时器结束时上报测量结果；Pending time after trigger 则用于限制连续报告的次数，也就是说一次测量报告被发送以后在 Pending time after trigger 时间内即使测量结果满足触发条件也不再上报。

在 TFC 选择时和传输信道重配置时进行流量控制过程。根据 RLC 缓冲区当前的负荷，传输信道当前的传输能力以及 MAC 以前设置的控制值，判断是否需要 RLC 再次流控。RLC 层与 MAC 层数据的传递必须通过流量控制机制进行协调，才能使数据有序合理的通过 RNC。具体实现是通过 RLC 与 MAC 进行业务量信息的交互协商来实现的。首先：RLC 在每次请求 MAC 为其服务时，通知 MAC 每个逻辑信道上可以发送的数据量和当前每个 RLC 实体中 BO 的大小；前者与逻辑信道的优先级一起用于 MAC 层 TFC 的选择；前者用于 MAC 层业务量的测量。其次：MAC 根据 RLC\_entity\_info 以及逻辑信道的优先级为下一次 TTI 超时时的数据发送选择 TFC 并且将流量控制信息告知 RLC 层，也就是说将下次允许每个 RLC 实体分别发送的 RLC\_PDUs 的数量告诉 RLC 层。最后：RLC 层各实体根据 MAC 层的流量控制信息进行下次的发送请求。通过流量控制可以实现在 MAC 层逻辑上不存在数据缓冲的问题，数据缓冲仅仅存在于 RLC 子层。对于 MAC-c/sh 与 MAC-d 之间的流控类似。

由于 UU 接口上无线帧的发送存在严格的时间约束，所以 RNC 中每层协议的处理必然存在着数据发送的时机问题；尤其是 MAC 输出数据是严格的根据 TTI 定时进行的，所以必然与 UU 接口上无线帧地发送定时存在着严格的相关性，所以有必要对 MAC 输出数据进行发送控制的研究。

1) RLC 在下个 TTI 到来之前会通知 MAC-d 各个逻辑信道上的数据量，通知的时刻由 RLC 控制，RLC 可以根据业务量的变化多次通知 MAC-d，但至少在一个 TTI 内要通知一次。

2) TTI 到期后，MAC 进行 TFC 选择，并向 RLC 指示当前可以发送的数据量。

3) RLC 按照 MAC 指示的结果对数据进行相应处理后，将数据提交给 MAC。

4) MAC 对得到的 RLC PDU 进行加头复用处理后，将数据提交给 FP。

### 2.3 接收模块功能设计

接收模块主要处理上行数据。同样在 MAC-c/sh 和 MAC-d 中的处理过程是不同的，相对于下行数据处理，上行数据处理比较简单。下面分别讲述两种处理过程。FP 向 MAC-c/sh 请求传输数据，MAC-c/sh 收到数据后进行解头过程，如果 MAC PDU 头中 TCTF 字段为 0100，则可以确定这个 PDU 包括了 UE\_ID\_TYPE 和 UE\_ID，最后将这个 PDU 的 CT 字段及净荷解出后发向相应的 MAC-d。如果 TCTF 字段为 00，那么通过相应的逻辑信道将数据发给 RLC。MAC-d 的处理过程：FP 向 MAC-d 请求传输数据，MAC-d 收到数据后进行解头过程，根据 C/T 域的信息通过相应的逻辑信道将数据发给 RLC。如果对应的 RLC 实体是 Tr 模式，先对相应的数据进行解密，再发给 RLC。

### 2.4 内部模块功能设计

内部模块主要处理 MAC-c/sh 与 MAC-d 之间的数据，它的处理流程在 MAC-c/sh 和 MAC-d 上是不同的。在 MAC-c/sh 上的处理流程如下：1) 判断内部模块接收的数据是来自接收模块还是业务分发模块。2) 如果是来自接收模块，那么根据解头所得到的 UE\_ID\_TYPE 和 UE\_ID 去查找相应的逻辑连接号，从而将数据发给 MAC-d。3) 如果是来自业务分发模块，则根据其中的消息类型区分是 MAC-d 的数据有无指示还是下行数据传输请求，如果是前者，MAC-c/sh 将相应 UE 映射信息中的标志位置上，以便调度时使用，如果是后者，则将 MAC-d 过来的数据进行缓存，并在 TTI 到达时将数据给发送模块。在 MAC-d 上的处理流程如下：1) 判断内部模块接收的数据是来自发送模块还是业务分发模块。2) 如果是来自发送模块，那么在进行完加 C/T 域后，将数据通过业务分发模块发给相应的 MAC-c/sh。3) 如果是来自业务分发模块，则根据其中的消息类型区分是 MAC-c/sh 的 TBU 指示还是上行数据传输请求，如果是前者，MAC-d 根据指示的 TBU 计算当前 RLC 可以发送的数据量并以此向 RLC 取数据，如果是后者，则将 MAC-c/sh 过来的数据进行解 C/T 域，然后将数据通过接收模块发给 RLC。

支持 CELL\_FACH 状态后，需要在 MACc 的配置消息上增加一个参数“FACH Measurement occasion cycle length coefficient”，下面简称参数  $k$ ，参数的有效取值范围为  $(1 \cdots 12)$ 。此参数与公共信道配置方案、异频邻小区数目、异系统（比如 GSM 系统）小区数目有关系。一般来说，小区公共信道配置方案确定、邻小区配置确定之后，此参数也就定下来了。

MAC 收到该参数之后，如果其在有效范围内，则需要保证，在满足公式“ $SFN \div N = C\_RNTI \bmod M\_REP + n * M\_REP$ ”的 SFN 上，不能在 FACH 上出现对应 UE 的下行数据。其中  $N$  为 SCCPCH 中 TTI 最大的 FACH 信道的 TTI， $C\_RNTI$  为对应 UE 的标识， $M\_REP$  等于 2 的  $k$  次方， $n$  的取值范围为  $(0 \cdots 2048)$ 。目前的处理是将  $k$  值配成 0，这样 MACc 就不用进行当前 SFN 是否可以发送数据的判断。

## 3 多用户调度优先级处理

根据 UE 和数据流的优先级，调度/优先级处理/解复用完成 FACH 和 DSCH 的资源管理和多用户的优先级调度，以及把 USCH 数据分配到不同的 UE（即传送到不同的 MAC-d 实体）的功能。

MAC-d 在接收到上层 RLC 的数据量通知后，向对应的 MAC-c 发送数据到达通知消息，通知 MAC-c 有专用数据请求

发送; MAC-c 上, TTI 到期后在 CCTrCH 信道上可用的 TF-CS 中进行 TFC 选择, 根据公共逻辑信道数据量选择合适的 TFC, 然后通过可以与最大量传输数据的 TFC 比较, 计算可以为 MAC-d 分配多少传输能力。如果当前有多个 MAC-d 需要通过公共传输信道发送数据, 处理方法是首先找出绝对优先级最高且有数据需要发送的用户作为当前接受服务的对象, 如果同时存在多个优先级最高的用户, 则最先接入的那个用户将作为当前接受服务的对象。MAC-c 将通过消息向该用户相应的 MAC-d 实体指示允许发送的 PDU 大小和数目。MAC-d 根据流量控制信息和 RLC 已通知的数据量信息向上层的专用 RLC 实体指示每条逻辑信道允许的数据速率(注意: 这里指示的 PDU 大小应该是 TB 大小减去 MAC 头大小, 使用的 Ue-Id Type 不同时, PDU 大小是不同的)。

MAC-d 得到 RLC 提交的数据后, 添加 C/T 域后将数据通过消息向 MAC-c 发送。MAC-c 接收到数据后, 将其暂存在申请的临时内存中。

MAC-c 上, TTI 到期后, 进行 TFC 选择, 根据当前的公共逻辑信道数据量选择合适的 TFC, 然后通过可以与最大量传输数据的 TFC 比较, 计算出当前可以发送多少专用数据, 从申请的内存中提取适量数据, 添加 TCTF 字段, Ue-Id Type 字段, Ue-Id 字段 (C-RNTI 或 U-RNTI), 和从上层公共 RLC 实体得到并添加了 TCTF 字段的公共数据一起向下发送; 如果本次内存中存放的数据得以全部发送, 释放该部分内存。

上面如果临时内存中的数据 and 公共数据的总和少于最大 TFC 对应可发送的数据量, MAC-c 计算出剩余的传输能力, 再次通过消息向 MAC-d 指示下一个 TTI 允许发送的 PDU 大小和数目; 如果临时内存中的数据 and 公共数据的总和大于等于最大 TFC 对应可发送的数据量, 则从临时内存提取数据时只提取当前能够传输的数据量, 在本 TTI 内不再向 MAC-c 指示流量信息。

另外, 如果某个 MAC-d 上承载的数据已发送结束, 并且尚未有新数据到来, MAC-d 需要通过消息通知 MAC-c 数据发送结束, 在新数据到达之前, MAC-c 不再需要为该 MAC-d 服务。

### 4 结论

针对目前高校里普遍使用的移动通信实验系统不能完成依据 3GPP 标准的演进而进行针对性的教学工作, 本文提出并实现了一种在 ARM 和 DSP 及 FPGA 一体的单板上实现物理层、层二、层三及 NAS 层的协议教学和科研设备。其中本文主要分析了 MAC 层在硬件平台上的具体实现。我们以 3GPP R5 标准为例, 来说明系统的功能。实验中以 4 块单板通过网口组成 UE、NodeB 和 RNC 的移动通信系统, 其中两块单板运行两个 UE 的协议栈, 另两块分别运行 NODEB 和 RNC 的协议栈。在 PC 机上通过信令监测系统来分别监测 UE 侧和网络侧的运行。图 3 为 UE 作为主叫情况下 NodeB 板 MAC CCCH 的码流, 图 4 为 NodeB 板 MAC PCCH 的码流。接收的码流与商用的泰克公司的 K15 协议分析仪进行了验证, 系统运行正确。图 5 为移动通信系统开发平台拓扑图。对于 3GPP R10 的演进, 物理层需要更改 ARM、DSP 的软件及 FPGA 的设计, 层二以上协议需要更改相应的 MAC、RLC、PDCP、NAS、RRC、S1AP 等协议, 而硬件架构及 LINUX、VXWORKS 操作系统外壳为可以作为一个通用平台, 同时单板可以少用一

BITMASK	位名	值	注释
**B29***	FF: CRC Check Result		Data and Frame CRC OK
0011001-	FF: Header		
-----0	FF: Frame CRC	25	Data
-----0	FF: Frame Type		
**12***	FF: Connection Frame Number	124	
0111100	FF: Connection Frame Number	124	
-----0	FCH: FI	0	
-----0	FF: Transport Format Index	0	
0111011	BACH: Received STB: UL Timing Deviation	123	
00-----	Transport Block Set	0	
-----0	MAC: Target Channel Type		CCCH (Common Control Chn)
**B2C***	Data Segment	29 05 9C 00 0C 0E	
FF: Padding			
011010	FF: Padding info		
-----0	FF: Trailer		

HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	32	7c	00	7b	0a	41	63	00	03	11	80	04	62	40	05	04
10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	1a	00	31	89			

图 3 CCCH 码流

BITMASK	位名	值	注释
**B38***	FF: CRC Check Result		Data and Frame CRC OK
0111101-	FF: Header		
-----0	FF: Frame CRC	61	Data
-----0	FF: Frame Type		
**12***	FF: Connection Frame Number	2049	
0111100	FF: Connection Frame Number	2049	
-----0	FCH: FI	0	
-----0	FCH: FI	1	
-----0	FCH: FI	1	
-----00001	Transport Block Set	1	
-----0	FF: FI bitmap	0	
-----0	FF: Transport Block	0	
-----0	MAC: Target Channel Type		PCCH (Page Control Channel)
FF: Padding			
FF: Trailer			
**B2C***	FF: Payload CRC	35109	

HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	7a	10	80	01	40	01	28	<0	04	20	00	20	0a	24	00	00
10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
20	00	00	89	25												

图 4 PCCH 码流

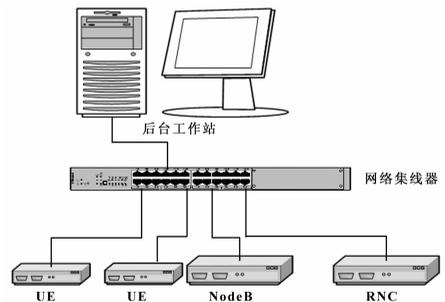


图 5 移动通信系统拓扑图

块。由此可见, 此系统通用性较好。

### 参考文献:

- [1] 吴平, 曹晓琳, 丁铁夫. 基于 ARM 和 DSP 的语音通讯系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2005 (12): 1625-1628.
- [2] 赵宇. 无线网络环境下网络编码 MAC 层技术与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学信息与通信工程学院, 2012.
- [3] Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 8) [S] 3GPP TS36.321 V1.0.0, 2007.9
- [4] Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 9) [S] 3GPP TS36.321 V9.0.0, 2009.9
- [5] Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 10) [S] 3GPP TS36.321 V10.0.0, 2010.12
- [6] Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 11) [S] 3GPP TS36.321 V11.0.0, 2012.9
- [7] 3GPP TS25.321: "MAC protocol specification" [S]. V6.5 2005.6
- [8] 3GPP TS 25.322: "RLC Protocol Specification" [S]. V6.5 2005.6