12月 Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology

文章编号: 2095-4980(2016)06-0885-06

TD-LTE 下行系统中 PDSCH 资源映射设计与实现

何云瑞1,张瑞齐2,宋 华3,李宗强3,艾 渤1*

(1.北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室,北京 100066;2.中国科学院 微电子研究所,北京 100029; 3.武警工程大学 信息工程学院,陕西 西安 710086)

摘 要:物理下行共享信道(PDSCH)是长期演进(LTE)下行系统中主要承载用户数据的物理通 道,在资源映射过程中,需避让其他信道或信号,逻辑复杂,加大了实现难度。本文在分析 PDSCH 资源映射原理的基础上,将其映射过程根据避让情形分为5类,并提出了符号级、资源块组(RBG) 级等2级跳转条件和符号级、RBG级、资源粒子(RE)级等3种跳转处理方式,通过对位图进行参 数提取,设计出一种支持下行所有带宽配置的映射方案。该方案资源开销小,可扩展性强,已应 用到LTE基站项目的开发中。

关键词:长期演进;现场可编程逻辑阵列;物理下行共享信道;资源映射 中图分类号:TN929.5 文献标志码:A doi:10.11805/TKYDA201606.0885

Design and implementation of PDSCH resource-mapping in TD-LTE downlink system

HE Yunrui¹, ZHANG Ruiqi², SONG Hua³, LI Zongqiang³, AI Bo^{1*}

(1.State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100066, China; 2.Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3.Information Engineering Faculty, Engineering University of Armed Police Force, Xi'an Shaanxi 710086, China)

Abstract: In Long Term Evolution(LTE) downlink system, Physical Downlink Shared Channel(PDSCH) is the main physical channel carrying user data. In resource-mapping, these data mapping to elements not reserved for other channels or signals makes implementation more logically complex. By analyzing the principle of PDSCH resource mapping, the paper divides the mapping process into five categories depending on avoidance situations. Also, two jumping conditions including symbol-level, Resource Block Group(RBG)-level are proposed; and three jumping treatments: symbol-level, RBG-level, Resource Element(RE-level, are introduced. Finally, coupled with parameters extracted from bitmap, a mapping scheme supporting all downlink bandwidth kinds is designed. The scheme with low cost and strong scalability has been applied to the development of LTE base station project.

Keywords: Long Term Evolution; Field Programmable Gate Array(FPGA); Physical Downlink Shared Channel; resource-mapping

LTE 下行基于正交频分复用多址方式,支持时频域、码域的资源分配和调度,调度的灵活性和高效性很大程度上决定了系统性能^[1]。PDSCH 上承载 LTE 中所有高层信令及业务数据,大大增加了调度业务量,提高了对资源分配灵活性的要求^[2]。

现阶段,国内外鲜有文献研究 PDSCH 资源映射的实现问题。文献[3]总结了 PDSCH 收发端整体架构;文献 [4]对整体架构进行了专用集成电路实现;文献[5]通过构造资源块分配标识矩阵来满足集中式与分布式映射的需求;文献[6]概述了资源分配类型及映射准则。目前来看,暂无文献详尽描述如何解决 PDSCH 与其他信道资源分 配冲突的问题,针对不同分配类型,也缺少一种统一、经济的映射架构。本文具体描述解决 PDSCH 映射资源冲

收稿日期: 2015-07-17; 修回日期: 2015-10-20

基金项目:国家科技重大专项资助项目(Y4GZ342001);国家重点实验室自主课题资助项目(RCS2014ZT11)

*通信作者: 艾 渤 email:abeffort_apple@aliyun.com

突的方法,提出的映射方案已支持 2 种分配类型,并在现场可编程门阵列(FPGA)上得到实现,对基带芯片开发 具有借鉴意义。

1 资源分配及映射准则

PDSCH 的资源分配有 0,1,2 这 3 种类型,具体采用哪种 由下行控制信息格式(Downlink Control Information format, DCI format)指示^[7]。

| 表1RBG 大小与系统带宽的关系 | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Table1 Relation between RBG size and system bandwidth | | | | |
| system bandwidth(N_{RB}^{DL}) RBG size(P) | | | | |
| ≤ 10 | 1 | | | |
| 11-26 | 2 | | | |
| 27-63 | 3 | | | |
| 64-100 | 4 | | | |

1.1 资源分配类型 0

类型 0 以 RBG 为调度单位。RBG 由一个或多个连续的虚拟资源块(Virtual Resource Block, VRB)组成。资源 块组(RBG)大小 P 由系统带宽决定,见表 1^[8]。

RBG 的总数为 $N_{\text{RBG}} = N_{\text{RB}}^{\text{DL}} / P$ 。用户的分配信息由一个 N_{RBG} 位的位图(bitmap)指示,每一位对应一个 RBG,置 1 表示用户分配到该 RBG。

1.2 资源分配类型 1

类型 1 中, RBG 分为 P 个子集, P 为 RBG 的大小。子集 p 包含从 RBG_p开始,间隔为 P 的所有 RBG。DCI 通过 3 个域指示分配给用户设备(User Equipment, UE)的 VRB,第 1 个域包含 $\log_2 P$ 个比特,用于指定选取的子集,即 p 值。第 2 个域包含 1 比特,用于指示所选子集内的资源是否偏移,1 表示偏移,0 表示不偏移。第 3 个域包含一个 bitmap, $N_{\text{bitmap}}^{\text{TYPEI}} = \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}}/P \rfloor - \lfloor \log_2 P \rfloor - 1$,每一位比特对应所选子集中的一个 VRB,这与类型 0 中的 bitmap 明显不同,另外,值得注意的是类型 1 的 bitmap 不足以表示所选子集中的所有 VRB,需要结合偏移量选取不同 的 VRB,其中偏移量 *shift* = $N_{\text{RB}}^{\text{RBG subset}}(p) - N_{\text{bitmap}}^{\text{TYPEI}}$ 。

1.3 资源分配类型 2

类型 2 中, UE 分配到的是一段连续 VRB, 可为集中式, 也可为分布式, 具体由 DCI format 指定。

对于 DCI format 1A 和 1B, 类型 2 的资源分配由资源指示值(Resource Indication Value, RIV)表示。由 RIV 可 推导出分配给用户的起始 RB(*RB*_{start})和 RB 长度(*L*_{CRBs})。RIV 定义如式(1)所示。

$$RIV = N_{\rm RB}^{\rm DL} \left(L_{\rm CRBs} - 1 \right) + RB_{\rm start}, \text{ if } \left(L_{\rm CRBs} - 1 \right) \leq N_{\rm RB}^{\rm DL} / 2$$

$$RIV = N_{\rm RB}^{\rm DL} \left(N_{\rm RB}^{\rm DL} - L_{\rm CRBs} + 1 \right) + \left(N_{\rm RB}^{\rm DL} - 1 - RB_{\rm start} \right), \text{ others}$$
(1)

式中1 \leq $L_{CRBs} \leq N_{RB}^{DL} - RB_{start}$ 。

1.4 资源映射准则

PDSCH 复值符号块 $y^{(i)}(0), ..., y^{(i)}(M_{symb} - 1)$ 在天线端口 i 上依次映射到分配的 VRB 上。映射准则为从子帧的 第 1 个符号开始,先频域维度 k 增序映射,再时域维度 l 增序跳转。被映射的 RE 需满足以下 2 个条件。第一: 不用于传输小区专用参考信号 (Cell-specific Reference Signals, CRS)、主/辅助同步信号 (Primary/Secondary Synchronization Signal, PSS/SSS)、物理广播信道 (Physical Broadcast Channel, PBCH);第二:不位于传输控制 信道的符号上。 表2 子帧 0 上信道及信号映射情况(CFI=0)

2 PDSCH资源映射实现

TD-LTE 系统中,子帧 0 上映射的信道和信号数 最多,如表 2 所示。PDSCH 在子帧 0 的避让机制最 具代表性,本文仅讨论子帧 0 上 PDSCH 的映射。

2.1 提出的参数预处理方法

2.1.1 资源分配类型 0

为从位图中提取资源分配信息及避让 PBCH、SSS,本文分别定义了一个 25×11 的存储器 re0 及一个 5 位寄存器 flag。以 20 M 带宽, bitmap 设为 101010101010101010101010月 为例, flag,re0 与 bitmap 的关系如图 1 所示。

Table2 Resource mapping of channels and signals on subframe 0(CFI=0)

| symbol | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 6 |
|--------------------------|------------------|------|---|-----|------|-----|-----|
| signals/ channels CRS | CRS | | | | ~~~~ | | |
| | control channels | | | | CRS | | |
| symbol | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| signals/ | CRS | PBCH | | CRS | | 555 | |
| channels | PBCH | Then | | | | | 555 |

re0、flag 的具体生成流程如图 2 所示。其中, re0 按行依次存储分配到的 RBG 的频域起点。根 据 PBCH、SSS 的映射公式^[9], 20 M 带宽时, PBCH 占用符号 7,8,9,10 的 *RE*₍₅₆₄到 *RE*₍₆₂₃)这 72 个 RE, SSS 也占用符号 13 的这 72 个 RE,覆盖 *RBG*₍₁₁₎ 的最后一个 RB、*RBG*₍₁₂₎和 *RBG*₍₁₃₎的第 1 个 RB, 可使 flag₍₀₎,flag₍₁₎,flag₍₂₎,flag₍₃₎,flag₍₄₎置 1,表示分 配的 RBG 的序号小于 11、等于 11、等于 12、等 于 13、大于 13,以此高效、准确地避让 PBCH 和 SSS。mxre 与 mxre11 分别存储分配到的序号最大 的 RBG 的频域起点及序号最左接近于(小于等 于)11 的 RBG 的频域起点。值得一提的是,不同 系统带宽下, re0 和 flag 存储的信息不同。 2.1.2 资源分配类型 1

本设计利用类型 0 中定义的 25 位 bitmap,低 22 位存放指定 VRB 的位图,接下来一位存放偏 移指示位,最高 2 位存放 P 值。具体处理流程为:

 结合最高 3 位得出子集内包含的 VRB。如 带宽 100RB, P=4,最高 3 位为 001,则 P=0,选 定子集 0,且 shift = N^{RBG}_{RB}^{subset}(0) - N^{TYPEI}_{bitmap} =28-22=6, 可得子集内包含的 VRB 序号为: 18,19,32,33,

 2) 复用类型 0 中的 re0,flag,mxre11,mxre,cnt_bitmap 及 cnt_flag。其中,flag上的每一位含义不变,但需结合带宽、子集 P 及偏移标志位确定分配到的 RB 是否被 PBCH/SSS 占用,以此 决定 cnt_flag 的临界判断值。针对引入集合的概念后,分配到的 RB 并不连续,需将 cnt_bitmap 改为计到 N^{TYPE1} , re0 改为式(2):

 $re0 \leq (\operatorname{cnt}_{b}\operatorname{itmap} \operatorname{modP} + \lfloor \operatorname{cnt}_{b}\operatorname{itmap}/P \rfloor P^{2} + shift) \times 12$ (2)

mxre11 和 mxre 也应做相应修改, 将图 2 中的 cnt_flag×48 替 换为 (cnt_flag modP + cnt_flag/P×P² + shift)×12。 2.1.3 资源分配类型 2

本设计利用 bitmap 的低 13 位存放 RIV, 寄存器 re2, endre 分 别存放 $RB_{\text{start}}, RB_{\text{start}} + L_{\text{CRBs}}$ 的频域起点,则 re2= $RB_{\text{start}} \times 12$, endre=($RB_{\text{start}} + L_{\text{CRBs}}$)×12。

由 L_{CRBs} 的定义可得:

$$1 \leq L_{\text{CRBs}} \leq N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - RB_{\text{start}}$$
(3)

整理后可得:

当
$$(L_{CRBs} - 1) \leq \lfloor N_{RB}^{DL}/2 \rfloor$$
时,

$$\left\lfloor RIV/N_{\rm RB}^{\rm DL} \right\rfloor + RIV \% N_{\rm RB}^{\rm DL} = L_{\rm CRBs} - 1 + RB_{\rm start} < N_{\rm RB}^{\rm DL}$$

$$\stackrel{\text{(5)}}{=} \left(L_{\rm CRBs} - 1 \right) > \left\lfloor N_{\rm RB}^{\rm DL}/2 \right\rfloor \text{If}$$

$$\left\lfloor RIV/N_{\rm RB}^{\rm DL} \right\rfloor + RIV \% N_{\rm RB}^{\rm DL} = 2N_{\rm RB}^{\rm DL} - (RB_{\rm start} + L_{\rm CRBs}) \ge N_{\rm RB}^{\rm DL} \qquad (6)$$

由式(5)和式(6)可知,通过计算 RIV 与 N_{RB}^{DL} 的商与余数之和x, 可得到 RB_{start} 和 L_{CRBs} :



Fig.1 Relation of re0, flag and bitmap(20 M) 图 1 re0,flag 与 bitmap 的关系(20 M)





Fig.2 Detailed process to generate flag and re0(20 M) 图 2 re0,flag 的具体生成流程(20 M)

第 14 卷

$$RB_{\text{start}} = \begin{cases} RIV \% N_{\text{RB}}^{\text{DL}}, \ x < N_{\text{RB}}^{\text{DL}} \\ N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - RIV \% N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1, \ x \ge N_{\text{RB}}^{\text{DL}} \end{cases}$$
(7)

$$L_{\rm CRBs} = \begin{cases} \left\lfloor RIV / N_{\rm RB}^{\rm DL} \right\rfloor + 1, \ x < N_{\rm RB}^{\rm DL} \\ N_{\rm RB}^{\rm DL} - \left\lfloor RIV / N_{\rm RB}^{\rm DL} \right\rfloor + 1, \ x \ge N_{\rm RB}^{\rm DL} \end{cases}$$
(8)

2.2 设计的避让机制及映射过程

本文提出的避让机制包括以下3部分:分类映射,分级跳转条件及分级跳转处理。

2.2.1 资源映射情况分类

根据表 2 中的信道分布情况,本文中将 PDSCH 的映射分为以下 5 类:

1) 无需避让: 在没有其他信道或信号映射的符号上, PDSCH 按照 bitmap 或 RIV 的指示直接映射。

2) 避让控制信道:控制格式指示(Control Format Indicator, CFI)分别为 1,2,3 时, PDSCH 分别从符号 1,2,3 开始传输^[8]。

3) 避让 CRS:单天线发送时,同一个符号上的 2 个 CRS 间偏移 6 个 RE, 而 CRS 映射的频域起点由 cell_id(小 区号)模 6 的值 cell_idmod6 决定。

4) 避让 PBCH 或 SSS: PBCH 与 SSS 在不同符号上占用相同的频域, PDSCH 避让这 2 个信道的逻辑可归为 一类。

5) 同时避让 PBCH 与 CRS: 符号 7 上映射了 PBCH 和 CRS,此为最复杂的情况。从此类中可剥离出其他类型的映射逻辑,故本文仅深入讨论子帧 0 符号 7 上 PDSCH 的映射。

2.2.2 跳转条件分级

根据资源映射准则,利用 2.1 小节中的例子及从位图中提取的参数,本文设计的 PDSCH 映射过程可阐述为 图 3 所示。

经过精心设计,本文提出了符号级、RBG级跳转条件。因为 CRS 在 cell_idmod6=5 时占用 RBG 的最后 RE, 故又将 2 级跳转条件细分为 1、2 类。

1) 符号级1类

该情形指一个符号上的 RBG 已映射完, 需跳转到下一 个符号, 需满足以下 3 种条件之一:

k == mxre + 47

 $\{ flag[4:3], flag[1] \} = 3'b001 \pm k == 563$

 $re0 == mxrel 1 \& \exists flag == 5'b00101 \exists k == re0 + 47$

2) RBG 级 1 类

该情形指在同一个符号上,跳转到下一个 RBG。其中 又分为 a 型,b 型 2 种类型,分别对应跳转到 *RBG*₍₁₃₎、普通 RBG 跳转 2 种情况。如 2.1 节所述,此时 PBCH 占用 *RBG*₍₁₃₎ 的第 1 个 RB,跳转后应从第 2 个 RB 开始映射。

a型: 跳转至 RBG(13)

$$k = 563 \pm \{ flag[3], [1] \} = 2'b11$$

 $k = re0 + 47 \pm \{ flag[3], [1] \} = 2'b01 \pm re0 = mxrel 1$

$$[k = re0 + 4/ \pm \{ flag[3], [1] \} = 2'b01 \pm re0 = =$$

b型: 普通 RBG 跳转

k == re0 + 47 或k == 563

对于符号级 2 类、RBG 级 2 类,只需将 47 改为 46, 563 改为 562 即可。对于资源分配类型 1,因为分配到的是 一段不连续的 VRB,相应地有 RB 级 1 类跳转,需将 47



Fig.3 Mapping of PDSCH on symbol 7 of subframe 0 图 3 PDSCH 在子帧 0 符号 7 上的映射

改为 11,563 不需修改,以及 RB 级 2 类跳转,将 47 改为 10,563 改为 562。对于资源分配类型 2,因为分配到 的是一段连续的 VRB,相应地没有 RBG 级跳转及 RB 级跳转的情况,只需根据类型 0 的跳转逻辑对符号级跳转 及避让 PBCH/SSS 的情况进行修改。

2.2.3 跳转处理分级

对应 2.2.2 小节提出的两级跳转条件,本文设计出了三级跳转处理方式。

符号级处理
 若 flag[3],flag[1:0] == 3'b100,则 k ≤ 636,l ≤ 8;
 若 flag == 5'b00100 且 cell_idmod6 == 0,则 k ≤ re0+1,l ≤ 11;
 若 flag == 5'b00100 且 cell_idmod6!=0,则 k ≤ re0,l ≤ 11;
 其他, k ≤ re0,l ≤ 8。
 2) RBG 级处理
 a 型: 若 cell_idmod6 == 0,则 k ≤ 637; 否则, k ≤ 636。
 b 型: 若 cell_idmod6 == 0,则 k ≤ re0+1; 否则, k ≤ re0。
 3) RE 级处理
 若 cnt_crs == 4,则 k ≤ k+2; 否则, k ≤ k+1。
 cnt_crs 初始值为 0, 计数到 4 时,表示下一个 RE 已被 CRS 占用, PDSCH 映射时必须跳开。

3 仿真与结果

3.1 仿真结果

本文中 PDSCH 资源映射方案已应用到 LTE 下行资源映射模块中,并基于 Altera 公司 Stratix IV 系列的 FPGA EP4SGX230KF40C3 芯片平台进行了综合。测试用例中,发送端采用单天线,PDSCH 映射到子帧 0 上,并采用 64QAM 调制方式。资源映射模块利用乒乓操作的原理^[10],采用 2 块 1 200×14 的静态随机存储器进行数据存入与 读出的流水化操作,仿真参数及综合得出的资源开销情况如表 3、表 4 所示。

| 表 3 | 参数设置 | 靯 |
|----------|------|---|
| T 11 0 D | | |

| Tables Parameter settings | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|-------|--|
| parameter | parameter value | | value | |
| clock frequency/MHz | 122 | number of antennas | 1 | |
| uplink-downlink configuration | 1 | bitmap | all 1 | |
| bit width of modulated symbol/bit | 16 | resource allocation type | 0 | |
| bandwidth/MHz | 20 | CFI | 1 | |
| special subframe configuration | 7 | $N_{ m RB}^{ m DL}$ | 100 | |

| 表 4 | 资源映射模块的资源开销 |
|-----|-------------|
|-----|-------------|

| Table4 Resource cost of resource-mapping module | | | | |
|---|-----------|------------|--------------|--|
| resource | cost | total | percentage/% | |
| combinational ALUTs | 5 614 | 424 960 | 1.0 | |
| dedicated logic registers | 2 277 | 424 960 | 0.5 | |
| total block memory bits | 1 278 257 | 21 233 664 | 6.0 | |

从表中可看出,本设计资源开销极小,而且从数据输入到存入存储器只需 5 个时钟周期,时延极小,完全满 足实际开发的要求。

3.2 系统验证

本文中的 PDSCH 资源映射方案已应用到实际的 TD-LTE 小基站项目的开发中,并搭建了如图 4 的系统级硬件验证平台。图中,子板 A 为模拟射频子系统,基于 ADI 公司的 AD9361 芯片搭建;母板 B 上加载了 LTE 整个下行硬件程序,基于两颗 Altera 公司 Stratix IV 系列的 EP4SGX230KF40C3FPGA 芯片搭建;子板 C 为 PCIE 子卡,用于和上位机进行数据通信。

同时为整体系统设计了测试软件,在硬件测试平台运行 3.1 小节的测试用例可得图 5 所示的子帧 0 上的解调 信息。图中上侧为星座图,其中绿色、红色、蓝色星座点分别表示 64QAM 调制、QPSK 调制、BPSK 调制。下



Fig.4 Hardware test platform 图 4 硬件测试平台



Fig.5 Demodulation information on subframe 0 图 5 子帧 0上的解调信息

侧为子帧上的物理信道和物理信号的解调信息,可看出 PDSCH 的误差向量幅度(Error Vector Magnitude, EVM) 为 3.324%,小于协议 36.141 要求的 8%^[11],其他信道和信号的 EVM 也较小,满足协议的要求。

4 结论

本文针对 PDSCH 资源映射逻辑复杂、实现困难的现状,将冲突情况进行分类,提出了参数预处理方法及包含 5 类映射情形、两级跳转条件、3 种跳转处理方式的避让机制,设计出一种经济、高效的支持下行所有带宽配置、所有资源分配类型的资源映射方案,能满足不同资源调度下的需求,现已应用到 LTE 小基站基带芯片的开发中,系统指标完全满足协议要求,证明了该方案的可靠性。下一步将结合实际对程序中的资源开销进行进一步整合和优化。

参考文献:

- [1] 张乐,张玉艳. 基于通用处理器的 TD-LTE 资源映射的设计与实现[J]. 软件, 2011,32(10):86-89. (ZHANG Le,ZHANG Yuyan. Resource-mapping design and implementation based on general-processor for TD-LTE system[J]. Software, 2011,32(10):86-89.)
- [2] 文琪. 3GPP LTE 中下行 OFDMA 系统的资源分配研究[D]. 成都:电子科技大学, 2008. (WEN Qi. Research on resource allocation of downlink OFDMA system in 3GPP LTE[D]. Chengdu, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2008.)
- [3] ABBAS S S A, SHEEBA P A J, THIRUVENGADAM S J. Design of downlink PDSCH architecture for LTE using FPGA[C]// International Conference on Recent Trends in Information Technology. Chennai, India:[s.n.], 2011:947-952.
- [4] DIGISH K G,THILAGAVATHY R. ASIC implementation of physical downlink shared channel for LTE[C]// International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies. Kanyakumari District, India:[s.n.], 2014:370-376.
- [5] 王晓龙,陈勇. TD-LTE系统下行物理信道 PDSCH资源映射的研究与实现[J]. 现代电信科技, 2015,45(1):30-34. (WANG Xiaolong,CHEN Yong. Research and implementation on PDSCH resource mapping in TD-LTE downlink physical channel[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2015,45(1):30-34.)
- [6] 刘丽丽. TD-LTE系统模拟器下行物理信道预编码与资源映射的研究和实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2013. (LIU Lili. Precoding and resource mapping of downlink physical channels in TD-LTE system simulator[D]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013.)
- [7] 李小文,罗佳. LTE 系统 DCI 格式检测及 PDSCH 传输方案的实现[J]. 电视技术, 2013,37(17):204-208. (LI Xiaowen, LUO Jia. Implementation of DCI format detection and transmission scheme confirmation of PDSCH in LTE system[J]. Video Engineering, 2013,37(17):204-208.)
- [8] 3GPP. TS 36.213, v10.12.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-URRA): Physical Layer Procedure [S]. 2014.
- [9] 3GPP. TS 36.211, v10.7.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-URRA): Physical Channels and Modulation[S].
 2013.
- [10] 钱黄生,夏忠珍. 基于 FPGA 双 RAM 乒乓操作的数据存储系统的研究[J]. 科技信息, 2010,16(21):502-509. (QIAN Huangsheng,XIA Zhongzhen. Research on data storage system based on double RAM ping-pong operation in FPGA[J]. Science & Technology Information, 2010,16(21):502-509.)
- [11] 3GPP. TS 36.141, v12.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-URRA):Base Station(BS) conformance testing[S].
 2013.

作者简介:



何云瑞(1991-), 女, 云南省建水县人, 在 读硕士研究生, 主要研究方向为无线通信. email:hyr52045@163.com.

李宗强(1972-),男,西安市人,副教授,主要研究方向 为微电子技术、图像处理. **张瑞齐**(1979-),男,西安市人,高级工程师, 主要研究方向为数字信号处理.

宋 华(1975-),男,西安市人,讲师,主要研 究方向为宽带移动通信.

艾 渤(1974-),男,西安市人,教授,博士生导师,主要研究方向为宽带移动通信系统与专用移动通信.