



文章编号:1001-9081(2018)10-2945-05

DOI:10.11772/j.issn.1001-9081.2018030518

LTE-A 空口监测分析仪中 PDSCH 解资源映射的设计与实现

王美乐^{1*}, 张治中^{1,2}, 王光亚^{1,2}

(1. 重庆邮电大学 通信网与测试技术重点实验室, 重庆 400065; 2. 重庆重邮汇测通信技术有限公司, 重庆 401121)

(* 通信作者电子邮箱 wangmeile1993@163.com)

摘要: 针对增强型长期演进(LTE-A)物理层传统解资源映射方法中重复计算资源映射位置造成的计算量冗余问题, 提出一种新型架构的物理下行共享信道(PDSCH)解资源映射方法, 为 LTE-A 空口监测分析仪相关物理层处理提供支持。首先, 在物理层下行信号和信道解资源映射之前, 产生单天线端口 0 模式、发射分集模式、单流波束赋形以及双流波束赋形下各个信号和信道的资源索引; 然后, 在物理层解资源映射时根据资源索引直接定位各信号和信道资源的时频位置; 最后, 把 PDSCH 信道解资源映射模块放在整个 LTE-A 链路级仿真平台中, 给出四种传输模式下的仿真, 得出不同传输模式下的误码率以及吞吐量的对比图, 为最终的硬件实现提供理论参考。同时通过与传统架构下的解资源映射模块进行对比表明, 该新型架构下的解资源映射模块比传统架构下的解资源映射仿真所花费的时间减少了 33.33%, 降低了解资源映射时的运算量和设备资源消耗。

关键词: 增强型长期演进; 空口; 监测分析仪; 物理下行共享信道; 解资源映射

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Design and implementation of PDSCH de-resource mapping in LTE-A air interface analyzer

WANG Meile^{1*}, ZHANG Zhizhong^{1,2}, WANG Guangya^{1,2}

(1. The Key Laboratory of Communication Networks and Test Engineering,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Chongyou Huice Communications Technology Company Limited, Chongqing 401121, China)

Abstract: In view of the problem of computational redundancy due to the repeated computation of resource mapping positions in the traditional de-resource mapping method of Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) physical layer, a new architecture of Physical Downlink Shared channel (PDSCH) de-resource mapping method was proposed, which provides support for the related physical layer processing of the LTE-A air interface analyzer. Firstly, before to the mapping of the physical downlink signal and the channel de-resource, the resource indexes of each signal and channel in single antenna port 0 mode, transmit diversity mode, single-stream beamforming, and dual-stream beamforming were generated; and then, the time-frequency location of the resource was directly located according to the resource index; finally, the PDSCH de-resource mapping module was put in the entire LTE-A link level simulation platform, and the simulations were given in four transmission modes, and the corresponding bit error rate and throughput comparison chart was obtained, which provides a theoretical reference to final hardware implementation. At the same time, compared with the de-resource mapping module under the traditional architecture, it shows that the de-resource mapping module under the new architecture costs 33.33% less time than the traditional computation mapping simulation, which reduces the de-resources and device resource consumption when de-resources mapping.

Key words: Long Term Evolution-Advanced (LTE-A); air interface; analyzer; Physical Downlink Shared CHannel (PDSCH); de-resource mapping

0 引言

根据中国信息通信研究院最新公布的数据显示:2016 年全球活跃 4G 网络达 428 个, 用户突破 10 亿, 预计 2020 年 4G 网络市场份额将占移动网络的 72%^[1]; 截至 2017 年 9 月, 移动宽带用户(3G/4G)占比达 78.1%, 每月 4G 手机出货量占比基本高于 90%^[2]。可以看出, 由于 4G 的新架构设计和较

好的向后兼容性, 已经使其在全球范围内进行大规模应用并成为有史以来发展最快的网络^[3]。

鉴于增强型长期演进(Long Term Evolution-Advanced, LTE-A)网络中改变了网络架构以及新增了无线通信新技术, 需要有新型的无线网络分析和优化的仪器仪表来满足当前网络测试需求^[4]。目前, 美国和日本均研发出了相关的长期演进(Long Term Evolution, LTE)空口监测仪器并得到了成熟的

收稿日期:2018-03-14; 修回日期:2018-05-08; 录用日期:2018-05-09。

基金项目: 国家科技重大专项(2015ZX03001013); 重庆高校创新团队项目(KJTD201312)。

作者简介: 王美乐(1993—), 女, 安徽淮北人, 硕士研究生, 主要研究方向: 宽带通信网测试; 张治中(1972—), 男, 湖北恩施人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向: 5G 移动通信系统、通信网测试、宽带信息网络; 王光亚(1994—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 宽带通信网测试。



应用,但是国内在空口测试仪方面并没有成熟的产品。虽然福禄克和信而泰两家公司均研发出了网络测试仪,但是只能针对特定的终端测试和解决网络连通性问题。因此 LTE-A 空口监测分析仪的产生,使国内高端仪表匮乏的状况得到缓解。相对于美国和日本研制的 LTE 空口监测仪器,该分析仪降低了操作复杂度,减少了设备的体积并降低了功耗,使其具有非常的商业价值。对国内仪器仪表的发展来说,该分析仪基于标准化的空口协议解析,不会受限于特定的终端,因此对国内测试仪表的发展具有明显的推动作用。LTE-A 空口监测分析仪传输模式支持单天线端口 0 模式、发射分集模式、单流波束赋形模式以及双流波束赋形模式,满足当前网络测试需求^[5]。

在 LTE-A 空口监测分析仪中,物理下行共享信道(Physical Downlink Shared Channel, PDSCH)解资源映射为 LTE-A 空口监测分析仪提供物理层支持,同时为监测仪发挥准确和可靠的监测功能提供基本的前提。近年来,也有相当一部分的研究人员对此进行研究:杨博雄等^[5]在其研究中分析了应用频分双工(Frequency Division Duplexing, FDD)的 LTE 无线通信系统中多输入多输出系统(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)的下行传输模式,但是传输模式只研究了三种,而随着通信行业的发展,下行链路中的传输模式已经超过了十种;许超等^[6]给出了应用时分双工(Time Division Duplexing, TDD)的 LTE 下行五个物理信道以及同步信号和参考信号两个信号解资源映射的算法,但只是按照传统的算法进行分析和仿真,并没有在基础上进行改进;王晓龙等^[7]详细介绍了 PDSCH 信道的三种资源分配方式,并分析其优缺点,但是分析的也只是传统的资源分配方式。

本文结合了传输模式与 PDSCH 信道的三种资源分配,研究四种经典传输模式下 PDSCH 解资源映射的方法,并且针对传统解资源映射的架构提出改进,改进后的解资源映射模块已经应用到 LTE-A 空口监测分析仪中,验证了该模块的可靠性。

1 解资源映射整体结构

传统的 PDSCH 解资源映射时,需要扣除物理层广播信道(Physical Broadcast Channel, PBCH)等其他信号和信道占用的资源元素(Resource Element, RE),但该 RE 资源往往是在 PDSCH 解资源映射前已经计算过一次的,这样做往往会重复计算信号和信道占用的 RE 位置。因此在本文设计的解资源映射架构中,在接收端对天线接收信号处理之前,先根据不同传输模式生成同步信号、参考信号以及下行信道的资源映射索引,在解资源映射时直接根据资源索引定位资源的时频位置,取出各信号与信道资源。物理层中,LTE-A 空口监测分析仪对接收到的正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)信号处理流程如图 1 所示。

可以看出,本文设计的解资源映射模块整体结构主要包括两个部分:

1) 在 LTE-A 空口监测分析仪处理 OFDM 基带信号之前,根据信号、信道资源索引产生模块产生各信号和信道的资源映射索引,包括小区参考信号(Cell Reference Signal, CRS)、用户特定的参考信号(UE Specific Reference Signal, UE-RS)、主同步信号(Primary Synchronization Signal, PSS)、辅同步信号

(Secondary Synchronization Signal, SSS)、PBCH 信道以及 PDSCH 信道。

2) 根据 PDSCH 资源映射索引取出信道资源:LTE-A 空口监测分析仪对 OFDM 基带信号进行解调,利用保存的 CRS 索引取出时频网格中的 CRS 资源,进行导频分离,对取出的导频信号进行信道估计,而时频网格中的 PDSCH 信道资源可根据之前产生的 PDSCH 资源索引定位,直接取出 PDSCH 信道资源。

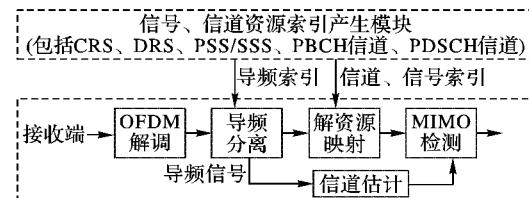


图 1 LTE-A 空口监测分析仪中解资源映射的整体结构

Fig. 1 Overall architecture of de-resource mapping in LTE-A air interface analyzer

由于第 2) 部分直接利用资源映射索引定位取出对应资源即可,因此本文只详细介绍第 1) 部分。

2 资源映射索引产生模块

鉴于参考信号、同步信号以及 PBCH 信道资源占用的 RE 位置可能会与 PDSCH 信道资源位置重复,因此,在产生 PDSCH 信道资源索引之前,需要考虑各信号资源与 PBCH 数据在时频资源网格上占用的 RE 位置,产生对应资源索引以便计算 PDSCH 信道资源映射索引时扣除。

2.1 参考信号资源索引

LTE-A 空口监测分析仪中的参考信号包含 CRS 和 UE-RS 两种类型。CRS 的 RE 位置与物理小区 ID、天线端口号、下行循环前缀(Cyclic Prefix, CP)类型以及频率偏移有关^[8]。UE-RS 只映射到单流波束赋形模式或双流波束赋形模式中,映射的方法视具体模式而定:在单流波束赋形中,根据不同 CP 类型按照 UE-RS 资源映射方法映射 UE-RS 即可。在双流波束赋形中,若非 TDD 制式子帧号 1 或 6,则直接按照 UE-RS 资源映射方法映射 UE-RS;反之需要考虑是否为特殊子帧,再根据下行子帧类型进行资源映射。详细的两种参考信号映射过程请参考 36.211 协议^[9],这里不再赘述。

2.2 同步信号索引

LTE-TDD 制式中,PSS 在时域上映射到子帧号为 1 和 6 的第三个 OFDM 符号上,SSS 在时域上映射到子帧号为 0 和 5 的最后一个 OFDM 符号上;频域上,PSS 和 SSS 均映射到整个带宽中间的 6 个资源块(Resource Block, RB)中,根据 PSS 和 SSS 映射的位置可计算二者的资源索引。

2.3 PBCH 信道索引

PBCH 信道在 TDD 制式子帧 0 的时隙 1 上进行传输,时域上占用 0、1、2、3 的 4 个符号进行传递,频域上占用 72 个 RE 资源,按照式(1)进行映射:

$$\begin{cases} k = \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}}{2} - 36 + k'; k' = 0, 1, \dots, 71 \\ l = 0, 1, \dots, 3 \end{cases} \quad (1)$$

其中: k' 为子载波序号; $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$ 为系统带宽; $N_{\text{sc}}^{\text{RB}}$ 为一个资源块内的子载波个数; k 为 PBCH 占用的子载波位置; l 为占用的 OFDM 符号位置。



2.4 PDSCH 信道索引

下行 PDSCH 信道资源索引产生的流程如图 2 所示。

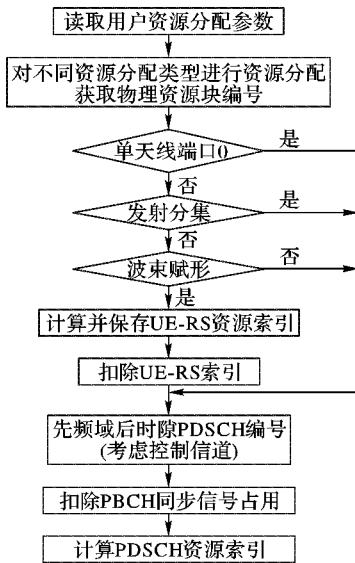


图 2 PDSCH 信道索引产生流程

Fig. 2 PDSCH channel index generation flow

由于在此之前已经扣除了 CRS 占用的 RE 资源,因此在为 PDSCH 的物理资源块(Physical RB, PRB)编号时不需要考虑 CRS 的位置。PDSCH 信道资源分配有三种类型,分配类型不同,计算 PDSCH 信道资源映射索引的方法不同,在第 3 章详细介绍。在产生 PDSCH 资源索引后,根据资源索引定位 PDSCH 信道资源在时频资源网格中的位置,提取 PDSCH 信道资源。

3 PDSCH 资源分配类型

LTE-A 空口监测分析仪中 PDSCH 信道的资源分配有 0、1、2 这三种类型^[10],具体采用何种类型由下行控制信息(Downlink Control Information, DCI)格式指示以及 DCI 内相关比特配置决定。

3.1 资源分配类型 0

类型 0 以资源块组(Resource Block Group, RBG)为调度单位。资源分配分为三步:

1) 如表 1 所示, RBG 大小 P 由系统带宽确定。

表 1 系统带宽与 RBG 大小的关系

Tab. 1 Relationship of system bandwidth and RBG size

系统带宽 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$	RBG 大小 P	系统带宽 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$	RBG 大小 P
≤ 10	1	$27 \sim 63$	3
$11 \sim 26$	2	$64 \sim 110$	4

2) 确定资源块组总数,公式为:

$$N_{\text{RBG}} = \lceil N_{\text{RB}}^{\text{DL}} / P \rceil \quad (2)$$

3) 位图(bitmap) 携带 N_{RBG} 个比特,最终根据位图确定 UE 被分配的资源。

3.2 资源分配类型 1

在类型 1 中,以虚拟资源块(Virtual Resource Block, VRB)为调度单位,资源分配具体步骤如下:

1) 与类型 0 相同,根据带宽得出 P 的值。

2) DCI 通过 3 个域指示分配给 UE 的虚拟资源块数,通过

DCI 携带的信息得到三个域的值:

(a) 计算资源块组的子集数 p ,计算公式为:

$$p = \lceil \log_2(P) \rceil \quad (3)$$

(b) 偏移量 1 比特(shift bit):指定子集内的资源是否偏移;

(c) 位图(bitmap),即包含的比特数:

$$N_{\text{RB}}^{\text{TYPE1}} = \lceil N_{\text{RB}}^{\text{DL}} / P \rceil - \lceil \log_2(P) \rceil - 1 \quad (4)$$

3) 计算每个资源块组的子集中所包含的虚拟资源块个数,参考式(5)计算:

$$N_{\text{RB}}^{\text{RBG,subset}}(p) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P^2} \right\rfloor \cdot P + P, & p < \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P} \right\rfloor \bmod P \\ \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P^2} \right\rfloor \cdot P + (N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1) \bmod P + 1, & p = \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P} \right\rfloor \bmod P \\ \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P^2} \right\rfloor \cdot P, & p > \left\lfloor \frac{N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - 1}{P} \right\rfloor \bmod P \end{cases} \quad (5)$$

4) 根据偏移比特确定是否偏移:

当偏移比特为 0 时,资源块组的子集 p 的偏移为:

$$\Delta_{\text{shift}}(p) = 0 \quad (6)$$

当偏移比特为 1 时,资源块组的子集 p 的偏移为:

$$\Delta_{\text{shift}}(p) = N_{\text{RB}}^{\text{RBG,subset}}(p) - N_{\text{RB}}^{\text{TYPE1}} \quad (7)$$

5) 计算位图中的每个比特对应的虚拟资源块数:

$$n_{\text{VRB}}^{\text{RBG,subset}}(p) = \left\lfloor \frac{i + \Delta_{\text{shift}}(p)}{P} \right\rfloor \cdot P^2 + p \cdot P + (i + \Delta_{\text{shift}}(p)) \bmod P \quad (8)$$

3.3 资源分配类型 2

类型 2 中,UE 分配到的是一段连续的虚拟资源块,可为集中式,也可为分布式,具体类型由 DCI 格式指定。

在集中式中,虚拟资源块和物理资源块是一一对应关系^[11],在分布式中,虚拟资源块到物理资源块的映射过程分以下步骤:

1) 如表 2 所示,根据系统带宽获取间隔 Gap,但是协议规定两种不同的间隔值。在 DCI 信息中,1 比特字段决定集中式还是分布式;1 比特字段决定 1stGap 还是 2ndGap。

表 2 系统带宽与 Gap 参数的关系

Tab. 2 Relationship of system bandwidth and Gap parameters

系统带宽 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$	Gap(N_{gap})	
	1 st Gap($N_{\text{gap},1}$)	2 nd Gap($N_{\text{gap},2}$)
6 ~ 10	$\lceil N_{\text{RB}}^{\text{DL}} / 2 \rceil$	N/A
11	4	N/A
12 ~ 19	8	N/A
20 ~ 26	12	N/A
27 ~ 44	18	N/A
45 ~ 49	27	N/A
50 ~ 63	27	9
64 ~ 79	32	16
80 ~ 110	48	16

2) 确定可用于频率交织的虚拟资源块范围:



1st Gap 时：

$$N_{\text{VRB}}^{\text{DL}} = N_{\text{VRB}, \text{gap}1}^{\text{DL}} = 2 \min(N_{\text{gap}}, N_{\text{RB}}^{\text{DL}} - N_{\text{gap}}) \quad (9)$$

2nd Gap 时：

$$N_{\text{VRB}}^{\text{DL}} = N_{\text{VRB}, \text{gap}2}^{\text{DL}} = \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}} / 2N_{\text{gap}} \rfloor \cdot 2N_{\text{gap}} \quad (10)$$

3) 获取交织矩阵。

一个虚拟资源块交织矩阵对应一个交织单元(固定 4 列), $N_{\text{VRB}}^{\text{DL}}$ 个连续的虚拟资源块组成一个虚拟资源块交织单元, $N_{\text{VRB}}^{\text{DL}}$ 取值如下:

(a) 1st Gap 时:

$$N_{\text{VRB}}^{\text{DL}} = N_{\text{VRB}, \text{gap}1}^{\text{DL}} \quad (11)$$

所有用于分布式调度的虚拟资源块资源只能组成一个交织单元,形成一个交织矩阵。

(b) 2nd Gap 时:

$$N_{\text{VRB}}^{\text{DL}} = 2N_{\text{VRB}, \text{gap}2}^{\text{DL}} \quad (12)$$

若带宽不同,则交织矩阵数量不同。

4) 虚拟资源块向物理资源块映射。

从步骤 3) 中获取的交织矩阵中,按列读取元素,首先得到偶数时隙的物理资源块位置;然后对得到的物理资源块位置再偏移 $N_{\text{VRB}}^{\text{DL}}/2$,得到奇数时隙的物理资源块位置。

若根据上面两个步骤得到的资源块位置大于等于 $N_{\text{VRB}}^{\text{DL}}/2$,则再次偏移 $(N_{\text{gap}} - N_{\text{VRB}}^{\text{DL}}/2)$,最终得到奇偶时隙的物理资源块位置。

4 仿真结果及分析

4.1 仿真环境

在通信系统中,误码率指示传输过程中传输信息的可靠性,是通信系统质量的重要指标之一;吞吐量是指通信过程中单位时间内传送成功的比特数^[12]。本文在分析四种传输模式时,在提出的新型解资源映射架构下对整个过程的误码率和吞吐量进行仿真,整个仿真使用 Matlab 平台,部分仿真参数如表 3 所示。

表 3 仿真参数

Tab. 3 Simulation parameters

参数	值	参数	值
系统带宽	20 Mbps	信道模型	AWGN
CP 类型	Normal	PDP 设置	LTE_EPA
调制方式	64 QAM	信道估计算法	MMSE
上下行配置	0	信道编码	1/3 速率 turbo 码
特殊子帧配置	0	TBs	15 264

本文的仿真包括两个部分:

1) 将改进的 PDSCH 解资源映射架构与传统的解资源映射放在 LTE-A 链路层中,对比二者所需要的运行时间,分析改进后解资源映射架构的优点。

2) 将改进的 PDSCH 解资源映射架构放在整个 LTE-A 链路层中,分别仿真四种传输模式下的误码率和吞吐量,分析不同传输模式的优缺点,同时也对新型架构下的解资源映射的效率以及可靠性方面进行验证。

4.2 不同 PDSCH 解资源映射架构的仿真结果

传统的 PDSCH 解资源映射时,需要扣除 PBCH 信道等其他信号和信道占用的 RE 资源,但该 RE 资源往往是在 PDSCH 解资源映射前已经计算过一次的,这样做往往会重复

计算信号和信道占用的 RE 位置。为解决此问题,本文在接收端对天线接收信号处理之前,先根据不同传输模式生成同步信号、参考信号以及下行信道的资源映射索引,在解资源映射时直接根据资源索引定位资源的时频位置,取出各信号与信道资源。

在保证可靠性的条件下,传统解资源映射架构下整个解资源映射过程花费了 0.006 s,改进后的解资源映射架构下花费 0.004 s。相对于传统架构,改进后架构下的解资源映射时间花费减少了 33.33%,由此也可以说明在硬件实现时所需要的资源消耗也大幅降低。

4.3 不同传输模式下的仿真结果

1) 单天线端口 0 模式的仿真结果如图 3 所示。可以看出,在单天线端口 0 中,相对于单发单收模式,单发 4 收的整体误码率更低。相同误码率条件下,单发 4 收所需的信噪比比单发单收大约低 5 dB。相同信噪比情况下,单发 4 收的吞吐量明显比单发单收高,且在 22 dB 时,二者吞吐量达到最高且相同。

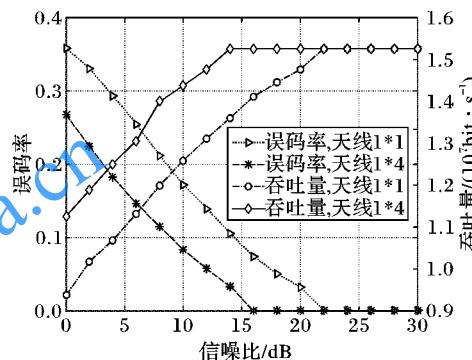


图 3 单天线端口 0 模式的仿真结果

Fig. 3 Simulation results for single antenna port 0 mode

2) 发射分集模式下的仿真结果如图 4 所示。发射分集模式是指相同的数据在多根发射天线上冗余发送,因此提升了信号与干扰加噪声比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR),降低了系统的误码率。但是相对于单天线端口 0 模式,发射分集并没有提高小区吞吐量。

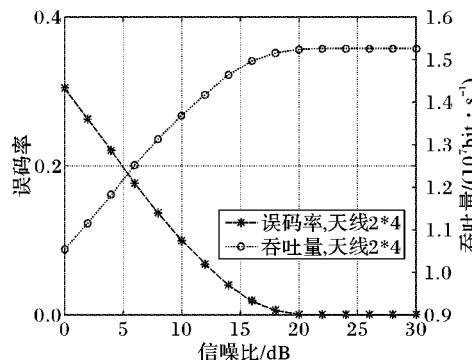


图 4 发射分集模式的仿真结果

Fig. 4 Simulation results for transmit diversity mode

3) 单流波束赋形模式下的仿真结果如图 5 所示。单流波束赋形模式在 4 个接收天线条件下信噪比在 17.5 dB 时已降至最低,吞吐量达到最高。相对于单天线端口 0 模式和发射分集模式,相同信噪比情况下,单流波束赋形模式下,吞吐量明显提高并且误码率降低。

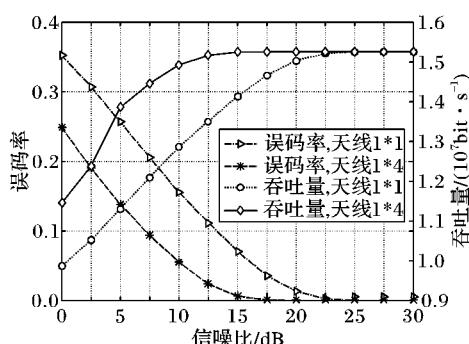


图5 单流波束赋形下的仿真结果

Fig. 5 Simulation results for single-stream beamforming

4) 双流波束赋形模式的仿真结果如图6所示。双流波束赋形模式是单流波束赋形和空间复用模式的结合,本质上来说,它是通过同时传输两个赋形数据流以实现空间复用。本文只仿真了单用户双流波束赋形技术,单个用户能够在某一时刻传输两个数据流,因此能够同时获取赋形增益和空间复用增益,系统容量更高。

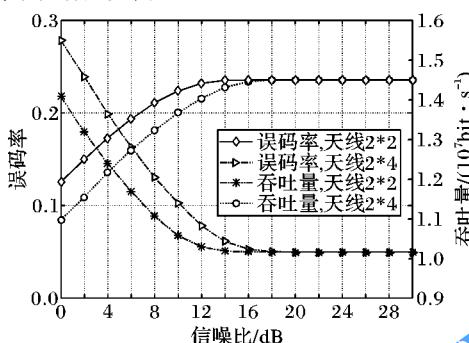


图6 双流波束赋形下的仿真结果

Fig. 6 Simulation results for dual stream beamforming mode

5 结语

本文提出了一种新型的PDSCH解资源映射架构,相对于传统的PDSCH解资源映射,减少了资源消耗,降低了运算量;同时研究了单天线端口0、发射分集、单流波束赋形和双流波束赋形四种传输模式下的PDSCH解资源映射,把改进后的PDSCH解资源映射模块放在LTE-A链路层进行仿真,得到四种传输模式下的仿真结果,实验结果表明:相对于单天线端口0,发射分集通过提升信噪比,降低了系统误码率;单流波束赋形能够明显提高吞吐量;双流波束赋形可以看作是单流波束赋形的改进,进一步提高了系统容量。

参考文献(References)

- [1] 中国信息通信研究院. 中国信息互联网发展趋势报告(2017)[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2017. (China Academy of Information and Communications Technology. China Internet development trend report (2017) [R]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, 2017.)
- [2] 中国信息通信研究院. 2017年9月份通信业经济运行情况[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2017. (China Academy of Information and Communications Technology. Economic operation of communication industry in september 2017 [R]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, 2017.)
- [3] 刘胜, 蔡厚恩, 张鹏. LTE空口监测技术及应用[J]. 电信网技术, 2014(3): 51–53. (LIU S, CAI H E, ZHANG P. LTE air interface monitoring technology and its application[J]. Telecommunications Network Technology, 2014(3): 51–53.)
- [4] 田志刚, 黄金平, 黄文学, 等. 畅谈新一代LTE网络优化测试产品——LTE空中接口监测仪[J]. 电信网技术, 2013(2): 61–65. (TIAN Z G, HUANG J P, HUANG W X, et al. Analysis on the new generation of LTE test products for network optimization[J]. Telecommunication Network Technology, 2013(2): 61–65.)
- [5] 杨博雄, 佟鑫. FDD-LTE系统中下行链路MIMO传输模式的研究与仿真[J]. 系统仿真技术, 2016, 12(3): 167–172. (YANG B X, TONG X. Research and simulation of downlink MIMO transmission mode in FDD-LTE system[J]. System Simulation Technology, 2016, 12(3): 167–172.)
- [6] 许超, 刘杰, 罗士新. TD-LTE下行解资源映射的仿真设计与实现[J]. 移动通信, 2013, 37(8): 86–92. (XU C, LIU J, LUO S X. Downlink physical channel of TD-LTE system research and implementation of PDSCH resource mapping[J]. Mobile Communications, 2013, 37(8): 86–92.)
- [7] 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 X L, CHEN Y. Research and implementation on PDSCH resource mapping in TD-LTE downlink physical channel[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2015, 45(1): 30–34.)
- [8] XIE J, CHEN X, ZHU Y, et al. A novel method to solve CRS/PDSCH RE collision in joint transmission in LTE-A[C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo. Piscataway, NJ: IEEE, 2012: 66–70.
- [9] 3GPP. ETSI TS 136 211 – 2013, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation V11.1.0; 3GPP TS 36.211 version 11.1.0 Release 11[S]. Nice, France: European Telecommunication Standard Institute, 2013: 82–88.
- [10] 何云瑞, 张瑞齐, 宋华, 等. TD-LTE下行系统中PDSCH资源映射设计与实现[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016, 14(6): 885–890. (HE Y R, ZHANG R Q, SONG H, et al. Design and implementation of PDSCH resource-mapping in TD-LTE downlink system[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016, 14(6): 885–890.)
- [11] ABBAS S S A, SHEEBA P A J, THIRUVENGADAM S J. Design of downlink PDSCH architecture for LTE using FPGA[C]// Proceedings of the 2011 International Conference on Recent Trends in Information Technology. Piscataway, NJ: IEEE, 2011: 947–952.
- [12] KAIM KHANI N A K. 新一代无线通信中的多输入多输出(MIMO)技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016: 52–58. (KAIM KHANI N A K. MIMO Techniques for emerging wireless communications[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016: 52–58.)

This work is partially supported by the National Science and Technology Major Project (2015ZX03001013), the Innovation Team Building Program of Colleges and Universities in Chongqing (KJTD201312).

WANG Meile, born in 1993, M. S. candidate. Her research interests include broadband communication network testing.

ZHANG Zhizhong, born in 1972, Ph. D., professor. His research interests include 5G mobile communication system, communication network testing, broadband information network.

WANG Guangya, born in 1994, M. S. candidate. His research interests include broadband communication network testing.