

文章编号: 1001 - 893X(2011)10 - 0001 - 05

# TD - LTE 各种上下行配置的性能比较<sup>\*</sup>

吕星哉, 陈 峥, 史 聃, 蒋智宁

(上海贝尔股份有限公司, 上海 201206)

**摘 要:** TD - LTE 是我国拥有核心自主知识产权的下一代无线通信技术标准, 共有 7 种不同的上下行配置, 以灵活支持不同的上下行业务需求。通过研究不同上下行配置对应的各种时序, 得出不同上下行配置对上下行时延的影响。通过分析在不同上下行配置下信道质量反馈、上行探测信号、混合自适应重传等技术的配置, 研究了不同上下行配置对上下行吞吐量及频谱效率的影响。同时利用系统仿真验证了以上分析结果, 给出了不同上下行配置性能下时延、吞吐量、频谱效率性能。研究结果为不同业务和组网要求下上下行配置的选择提供了参考依据。

**关键词:** 无线通信; TD - LTE; 上下行配置; 包时延; 吞吐量

**中图分类号:** TN929.5      **文献标识码:** A      doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2011.10.001

## Comparison of Different UL - DL Configurations of TD - LTE

LV Xing-zai, CHEN Zheng, SHI Dan, JIANG Zhi-ning

(Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

**Abstract:** TD - LTE (Time Duplex-Long Term Evolution) is the next generation of wireless communication standard, on which China has independent kernel intellectual property rights. It defines 7 different UL - DL (Uplink-Downlink) configurations to flexibly support different traffic requirements in uplink and downlink. By studying the timing of different UL - DL configurations, the impact of different UL - DL configurations on the UL and DL delay is given. The impacts on the throughput and spectral efficiency of different UL - DL configurations are also proposed by analysing the configuration of channel quality feedback, sounding reference signal transmission and hybrid transmission of different UL - DL configurations. The analysis result is verified by system level simulation and the actual delay, throughput and spectral efficiency of different UL - DL configurations are given, which provides a reference for the selection of UL - DL configuration under specific traffic and networking requirements.

**Key words:** wireless communication; TD - LTE; UL - DL configuration; packet delay; throughput

## 1 引 言

LTE 技术是 3GPP 组织制定的下一代无线通信技术标准<sup>[1,2]</sup>, 其双工方式主要有两大类, 一类为频分双工 (Frequency Division Duplexing, FDD), 另一类为时分双工 (Time Division Duplex, TDD)。使用 TDD

的 LTE 系统又被称为 TD - LTE 系统, 是我国拥有核心自主知识产权的通信技术标准, 可与 TD - SCDMA 共存<sup>[3]</sup>, 并可以兼容 LTE - A 的后续技术演进<sup>[4]</sup>。在 3GPP 协议中帧格式 2 对应于 TD - LTE 系统, 并分为 7 种不同的上下行和特殊子帧的配置, TD - LTE 系统可以采用其中任何一种配置组合以适应不

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2011 - 06 - 10; 修回日期: 2011 - 09 - 06

基金项目: 国家科技重大专项资助项目 (2010ZX03002 - 003)

Foundation Item: The National Science & Technology Major Project (2010ZX03002 - 003)

同的上下行业务需求<sup>[5]</sup>。不同上下行配置有不同的 UE 测量汇报的周期、混合自动重发请求 (Hybrid Automatic Repeat – reQuest, HARQ) 的往返时延 (Round Trip Time, RTT)<sup>[6]</sup>, 以及保护间隔等的开销。这些因素进而会影响上下行的吞吐量、频谱效率, 以及包的时延等无线网络的关键性能指标。因此, 本文从时延和频谱效率两方面研究 TD – LTE 系统的不同上下行配置对各种关键性能指标的影响, 以作为实际中布网和参数配置的参考。

2 TD – LTE 的帧格式

文献[5]中定义了 TD – LTE 的帧格式, 如图 1 所示。

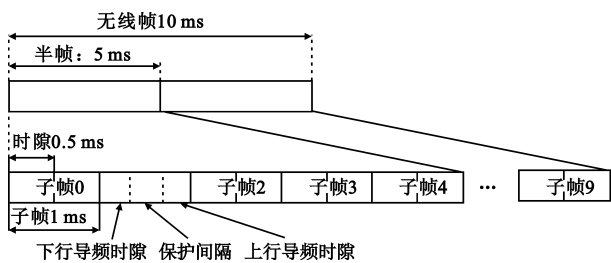


图 1 TD – LTE 帧格式结构图  
Fig.1 Frame structure of TD – LTE

TD – LTE 中一个无线帧的帧长为 10 ms, 分为 10 个 1 ms 的子帧, 每个子帧又分为两个 0.5 ms 的时隙。除上下行子帧外, 还设计了特殊子帧作为 TDD 系统上下行传输的切换点。特殊子帧由下行导频时隙、保护间隔和上行导频时隙三部分组成, 其中下行导频时隙在某些特殊子帧配置下可以发送数据, 而保护间隔及上行导频时隙则不能发送数据。

TD – LTE 帧格式分为如表 1 中所示的 7 种配置, 其中上下行切换点分为 5 ms 周期和 10 ms 周期两种配置, 在 1 个无线帧中, 分别有两个和 1 个特殊子帧。

表 1 TD – LTE 帧格式的不同配置

Table 1 Different UL – DL configurations of TD – LTE

| 配置 | 上下行切换点 | 子帧号 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|--------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|    |        | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0  | 5 ms   | D   | S | U | U | U | D | S | U | U | U |
| 1  | 5 ms   | D   | S | U | U | D | D | S | U | U | D |
| 2  | 5 ms   | D   | S | U | D | D | D | S | U | D | D |
| 3  | 10 ms  | D   | S | U | U | U | D | D | D | D | D |
| 4  | 10 ms  | D   | S | U | U | D | D | D | D | D | D |
| 5  | 10 ms  | D   | S | U | D | D | D | D | D | D | D |
| 6  | 5 ms   | D   | S | U | U | U | D | S | U | U | D |

3 不同上下行配置下的时延

3.1 上行时延

上行的包时延可以定义为用户设备 (User Equipment, UE) 的无线协议层从应用层收到一个包并转发, 到 eNB (evolved Node B) 端向网络侧转发此包间的时间间隔, 其具体的时延计算如下式:

$$T_{UL\_Delay} = T_{App, UE} + T_{UE, PDCP} + T_{Wait\_SR} + T_{SR} + T_{eNB, SR} + T_{eNB, SCH} + T_{Wait\_PDCCH} + T_{PDCCH} + T_{Wait\_PUSCH} + T_{PUSCH} + NT_{UL, RTT} + T_{eNB, RxD} + T_{eNB, net} \quad (1)$$

式中,  $T_{UL\_Delay}$  为上行包的总时延, 可以分解为多个部分的时延之和;  $T_{App, UE}$  为 UE 应用层将包传输到 UE 无线协议层的时延;  $T_{UE, PDCP}$  为 UE 的 PDCP 层处理数据所花费的时间;  $T_{Wait\_SR}$  为 UE 等待调度请求 (Scheduling Request, SR) 所用的时间;  $T_{SR}$  是 SR 在空口上传输的时间, 为 1 ms;  $T_{eNB, SR}$  为 eNB 处理 SR 信号的时间;  $T_{eNB, SCH}$  为 eNB 运行调度器分配上行资源所需要的时间;  $T_{Wait\_PDCCH}$  为 eNB 等待能传送分配上行资源信令的 PDCCH 分配机会所需的时间;  $T_{PDCCH}$  为 PDCCH 在空口上传输所需的时间, 为 1 ms;  $T_{Wait\_PUSCH}$  为 UE 收到 PDCCH 的资源分配信令后, 等待对应的 PUSCH 所需的时间;  $T_{PUSCH}$  为 PUSCH 在空口上传输所需的时间, 为 1 ms;  $N$  为 PUSCH 的重传次数,  $T_{UL, RTT}$  为上行重传的往返时延;  $T_{eNB, RxD}$  为 eNB 无线协议层数据面处理接收数据所需要的时间;  $T_{eNB, net}$  为 eNB 的无线协议层将包转发到网络侧所需的时延。

在式(1)的各时延中, 不同上下行配置影响的时延为  $T_{Wait\_SR}$ 、 $T_{Wait\_PDCCH}$  和  $T_{Wait\_PUSCH}$ 。SR 的周期会影响  $T_{Wait\_SR}$ 。在 10 ms 上下行转换点的配置下, 无法配置 SR 的周期为 5 ms, 只能配置为 10 ms。在 5 ms 周期下, 平均等待时间为 3 ms; 在 10 ms 周期下, 平均等待时间则为 5.5 ms。  $T_{Wait\_PDCCH}$ 、 $T_{Wait\_PUSCH}$  则与 10 ms 无线帧内上行子帧个数有关。对于上行子帧较少的配置, 这两个时延较大, 对时延敏感的突发业务会有较大影响。

3.2 下行时延

下行的包时延可以定义为 eNB 的无线协议层从网络侧收到一个包并转发, 到 UE 的应用层收到此包间的时间间隔, 其具体的时延为

$$T_{DL\_Delay} = T_{net,eNB} + T_{eNB,SCH} + T_{eNB,TxD} + T_{Wait\_PDSCH} + T_{PDSCH} + NT_{DL,RTT} + T_{UE,PDSCH} + T_{UE,RxD} + T_{UE,App} \quad (2)$$

式中,  $T_{net,eNB}$  是 eNB 从网络侧的收包时延;  $T_{eNB,SCH}$  是 eNB 调度数据分配资源需要的时间;  $T_{eNB,TxD}$  为 eNB 无线协议层数据面处理发送数据所需要的时间;  $T_{Wait\_PDSCH}$  为等待下行发送机会的时间;  $T_{PDSCH}$  为 PDSCH 信道在空口上传输的时延, 为 1 ms;  $N$  为重传次数;  $T_{DL,RTT}$  为上行重传的往返时延;  $T_{UE,PDSCH}$  为 UE 物理层接收 PDSCH 数据所需的时延;  $T_{UE,RxD}$  为 UE 无线协议层数据面处理接收数据所需要的时间;  $T_{UE,App}$  为 UE 无线协议层向其应用层转发包所需的时间。

式(2)的各时延中, 不同上下行配置影响的部分为  $T_{Wait\_PDSCH}$  和  $T_{DL,RTT}$ 。对于下行子帧较多的配置,  $T_{Wait\_PDSCH}$  会比较小, 而在上下行比较平衡的配置中,  $T_{DL,RTT}$  比较小, 否则较大。同时可见, 由于发送 SR 需要时间, 上行时延一般大于下行时延。

## 4 不同上下行配置下的吞吐量

### 4.1 下行吞吐量和频谱效率

下行的吞吐量受以下几个因素的影响。

#### (1) 下行子帧的个数

具有更多下行子帧和特殊子帧个数的配置将拥有更大的下行吞吐量。

#### (2) CQI(Channel Quality Indication)汇报的延时

CQI 是 UE 反馈给 eNB 的下行信道质量信息指示, 10 ms 上下行转换点配置中, CQI 汇报的周期只能是 {1, 10, 20, 40, 80, 160} ms 的配置, 而缺少 5 ms 的配置。1 ms 配置由于汇报的是连续的下行子帧上的信道质量, 开销大且增益不大, 而即使采用非周期 CQI 汇报, 10 ms 时隙转换点也无法以 5 ms 的间隔上报 CQI, 因此对速度较高的 UE 的性能有一定的影响。

#### (3) SRS(Sounding Reference Signal)发送周期

对下行而言, SRS 的作用是利用信道的互易性估计出波束赋形的权重。在 10 ms 上下行转换点配置中, SRS 信号只能以 10 ms 为周期发送, 因此高速的 UE 的下行波束赋形性能会有较大损失。

#### (4) HARQ 性能

10 ms 上下行转换点相对而言会引入更大的 HARQ 时延, 重传的间隔时间较长。更长的重传间

隔使两次重传间的无线信道更加不相关, 在某些信道衰落条件下能够带来较好的时间分集增益, 提升吞吐量。但是付出的代价是时延更大。

### (5) ACK/NACK 绑定

由于在某些配置下, 上行子帧数小于下行子帧数。需要将多个下行帧和传输块上对应的多个 ACK/NACK 反馈进行绑定, 返回一个单独的 ACK/NACK。这样, 则这多个传输块中任何一个出错, 都需全部重传, 从而造成资源的浪费, 降低吞吐量。

下行频谱效率  $S_{DL}$  的计算公式为

$$S_{DL} = \frac{R_{DL}}{B} \frac{T_{D\_SF} + T_{DWPTS} + T_{U\_SF} + T_{UPPTS}}{T_{D\_SF} + T_{DWPTS}} \quad (3)$$

式中,  $R_{DL}$  为下行吞吐量,  $B$  为系统带宽,  $T_{D\_SF}$ 、 $T_{DWPTS}$ 、 $T_{U\_SF}$ 、 $T_{UPPTS}$  分别代表一个无线帧中下行子帧、下行导频时隙、上行子帧、上行导频时隙所占用的时间。注意到, 特殊子帧会降低频谱效率, 因此在相同的吞吐量下, 5 ms 上下行转换点因 1 个无线帧内有两个特殊子帧, 其频谱效率会小于 10 ms 上下行转换点。

### 4.2 上行吞吐量和频谱效率

上行的吞吐量受以下几个因素的影响。

#### (1) 上行子帧的个数

具有更多上行子帧个数的配置将拥有更大的下行吞吐量。

#### (2) SRS 发送周期

在上行, SRS 一般用于功率控制及频率选择性调度。而与下行类似, 10 ms 上下行转换点配置中, SRS 信号也只能以 10 ms 为周期发送, 从而会影响高速的 UE 的上行性能。

上行频谱效率  $S_{UL}$  的计算公式为

$$S_{UL} = \frac{R_{UL}}{B} \frac{T_{D\_SF} + T_{DWPTS} + T_{U\_SF} + T_{UPPTS}}{T_{U\_SF} + T_{UPPTS}} \quad (4)$$

式中,  $R_{UL}$  为上行吞吐量, 其余变量含义同式(3)。同样, 特殊子帧也会降低上行频谱效率。

## 5 数值结果

对不同的 TD-LTE 系统的上下行配置, 通过系统仿真来验证性能。仿真采用的网络结构为: 使用 19 个基站, 共 57 个小区, 基站间的距离设置为 500 m。每个小区有 20 个用户。信道模型使用 SCME<sup>[7]</sup>模型, 其阴影衰落设置为 8 dB。仿真中使用

的系统带宽设置为10 MHz,基站端配置 8 天线,用户端配置两天线。用户的运动速度设置为3 km/h。下行传输模式采用双流波束赋形,上行则使用最大比合并接收机接收。仿真中对 CQI、Sounding 参考信号与 SR 机会的周期配置不同。5 ms上下行切换点的配置,如上下行配置 0、1、2、6 设置为5 ms,其余10 ms切换点配置设置为10 ms,特殊子帧一致都设定为配置 7。

由第 3 节中的分析可知,上行时延一般大于下行时延,是系统时延的瓶颈,因此此处主要验证上行时延的性能。图 2 为不同上下行配置的上行包的平均时延。由图可见,上下行配置 1 拥有最小的上行平均时延,其原因是上下行配置 1 的上下切换点为 5 ms,而且上下行资源配置比较均衡。同时除上下行配置 6 以外,10 ms切换点的配置的时延一般大于 5 ms的时延,原因如第 3 节中的分析。另外,在相同上下行切换点周期下,上下行资源均衡的配置的时延要小于上下行资源比例差异较大的配置的时延。

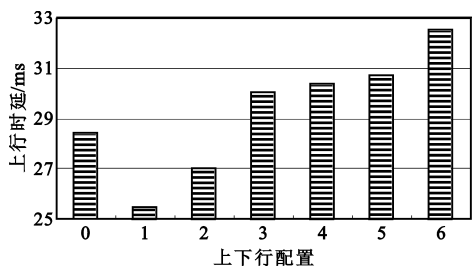


图 2 不同上下行配置下的平均时延

Fig.2 Average packet delay of different UL – DL configurations

图 3 给出了不同上下行配置下的吞吐量,图 4 则为不同上下行配置下的频谱效率。从图中可见,配置 5 能提供最大的下行吞吐量,适用于上行业务较少而下行负载重的场景;而配置 0 能提供最大的上行吞吐量,这是由这两种配置分给上下行的无线资源决定的;而配置 0、1、6 能提供较为均衡的上下行吞吐量,适用于上下行业务量对等的场景。

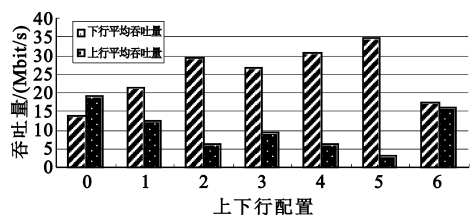


图 3 不同上下行配置下的上下行吞吐量

Fig.3 DL and UL throughput of different UL – DL configurations

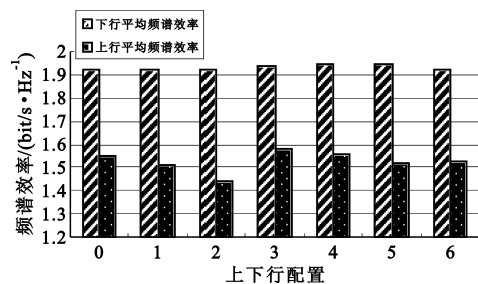


图 4 不同上下行配置下的上下行频谱效率

Fig.4 Spectral efficiency of different UL – DL configurations

从频谱效率看,下行在各个不同的配置下频谱效率均较为一致,都在1.9 bit/s·Hz<sup>-1</sup>左右,而10 ms切换点配置的下行频谱效率会稍稍高于5 ms切换点配置的下行频谱效率。这是因为一个无线帧内特殊子帧只有 1 个,其频谱效率会提高。虽然根据第 4 节中的分析,CQI 周期设置会提高 5 ms切换点配置的下行频谱效率,但是在此仿真中,用户的运动速度较慢,因此 CQI 延时并不显著影响 eNB 端对无线信道和干扰衰落情况的跟踪。

各个上下行配置的上行频谱效率在 1.4 ~ 1.58 之间,都低于下行频谱效率。原因有两个,一是下行可以采用双流传输,实现在同一个时频资源上空分复用;二是在特殊子帧的下行导频时隙,eNB 可以传输下行数据,而上行导频时隙,UE 不能传输上行数据。因此特殊子帧对上行频谱效率的影响要甚于下行。从图 4 中可见,基本上各配置中上行子帧数与特殊子帧的比值决定了上行频谱效率大小。此时用户运动较慢,Sounding RS 发送周期的影响很小。

在多小区系统中,邻小区干扰是影响容量的最大因素,通过文献[8,9]中的干扰抑制技术,可以进一步提升系统吞吐量和频谱效率。

## 6 结 论

本文比较了 TD – LTE 系统中不同上下行配置下的包时延、吞吐量和频谱效率,分析了不同上下行配置中性能差异的原因及其适用的范围。通过分析及仿真发现,5 ms切换点的上下行配置在时延方面具有优势,10 ms切换点的上下行配置在频谱效率上具有优势;上下行资源平衡的配置在时延方面会比下行资源占优势的配置时延更小,而上行的频谱效率相对下行在不同配置下差异更大。

## 参考文献:

[1] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE, The

- UMTS Long Term Evolution; From Theory to Practice[M]. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [2] 沈嘉. 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.
- SHEN Jia. 3GPP Long Term Evolution: Principle and System Design[M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Press, 2008. (in Chinese)
- [3] Jia H, Miao Q, Yin C, et al. Performance analysis of coexistence between LTE-TDD and TD-SCDMA[C]// Proceeding of 2009 IEEE International Conference on Communications Technology and Application. Beijing: IEEE, 2009: 303-307.
- [4] Penmanen H, Haataja T, Leinonen J, et al. System level evaluation of TDD based LTE-Advanced MIMO-OFDMA systems [C]// Proceedings of 2010 IEEE GLOBALCOM Workshops. Miami, FL: IEEE, 2010: 809-813.
- [5] 3GPP TS 36.211, v9.1.0, Physical Channels and Modulation[S].
- [6] 3GPP TS 36.213, v9.3.0, Physical layer procedures[S].
- [7] Baum D S, Hansen J, Salo J. An interim channel model for beyond-3G systems: extending the 3GPP spatial channel model[C]// Proceedings of VTC 2005 - Spring. Stockholm: IEEE, 2005: 3132-3136.
- [8] Chang P, Chang Y, Han Y, et al. Interference analysis and performance evaluation for LTE TDD system[C]// Proceeding of 2010 IEEE International Conference on Communications Technology and Application. Shenyang: IEEE, 2010: 410-414.
- [9] Chen S, Wang W, Zhang X, et al. Performance and optimization of interference coordination in downlink TDD-LTE systems[C]// Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering. Zhengzhou: IEEE, 2010: 181-185.

## 作者简介:

吕星哉(1983—),男,浙江永康人,2009年获中国科学技术大学通信与信息系统专业博士学位,现为上海贝尔股份有限公司系统高级工程师,主要研究方向为无线资源管理、多

天线技术;

LV Xing-zai was born in Yongkang, Zhejiang Province, in 1983. He received the Ph.D. degree from University of Science and Technology of China in 2009. He is now a system senior engineer in Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd.. His research interests include radio resource management, multi-antenna technology in LTE system.

Email: xingzai.a.lv@alcatel-sbell.com.cn

陈 峥(1975—),男,江苏南京人,2007年获中国科学技术大学通信与信息系统专业博士学位,现为上海贝尔股份有限公司高级软件工程师,主要从事 LTE eNodeB 产品的设计和开发工作;

CHEN Zheng was born in Nanjing, Jiangsu Province, in 1975. He received the Ph.D. degree from University of Science and Technology of China in 2007. He is now a senior software engineer in Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd.. His research concerns design and implementation of LTE eNodeBs.

史 聃(1981—),男,江苏徐州人,2008年获中国科学技术大学通信与信息系统专业博士学位,现为上海贝尔股份有限公司系统高级工程师,主要研究方向为无线通信系统功放数字预失真技术;

SHI Dan was born in Xuzhou, Jiangsu Province, in 1981. He received the Ph.D. degree from University of Science and Technology of China in 2008. He is now a system senior engineer in Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd.. His research concerns digital pre-distortion technology in wireless communication system.

蒋智宁(1976—),男,湖南人,2000年获中国科学技术大学通信与信息系统专业硕士学位,现为上海贝尔股份有限公司无线产品部系统设计顾问工程师,主要研究方向为移动通信基站系统的算法设计与仿真。

JIANG Zhi-ning was born in Hunan Province, in 1976. He received the M.S. degree from University of Science and Technology of China in 2000. He is currently working for Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd. as a system advisory engineer in wireless R&D Department. His research interests include algorithm design and simulation of mobile communication systems.