

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.07.025

# 基于共存研究的认知 TD-LTE 系统检测门限分析<sup>\*</sup>

方 箭<sup>\*\*</sup>,杨文翰,黄 标

(国家无线电监测中心,北京 100037)

**摘 要:**检测门限作为认知无线电系统的重要指标,其合理设置是确保授权系统和认知系统工作的基础。认知 TD-LTE 系统对数字电视广播信号的检测门限分析利用系统间共存研究方法,仿真了不同典型参数下的覆盖区和干扰保护区,基于链路的对称性分析了认知 TD-LTE 系统对数字电视广播信号的最小检测门限,并验证了此门限下的性能。仿真结果表明,−87 dBm 检测门限值既可满足对数字电视系统的保护,也可实现良好的检测和虚警性能。

**关键词:**认知无线电;TD-LTE;检测门限;共存研究;数字广播电视;能量检测

**中图分类号:**TN92      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-893X(2013)07-0953-04

## Detection Threshold Analysis of Cognitive TD-LTE System Based on Coexistence of TD-LTE and Digital Broadcasting Television

FANG Jian, YANG Wen-han, HUANG Biao

(The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China)

**Abstract:** As a key indicator, reasonable setting of detection threshold guarantees the authorization and cognitive system to work effectively. Under the guidance of coexistence analysis between TD-LTE and digital broadcasting television, detection threshold can be derived by calculating coverage and protecting areas employing symmetric link. Simulation results show that −87 dBm detection threshold can not only avoid interfering digital broadcasting television, but also achieve good performance of false alarm probability and detection probability.

**Key words:** cognitive radio (CR); TD-LTE; detection threshold; coexistence study; DVB; energy detection

### 1 引 言

目前,我国 IMT 系统已分配及近期可分配的频率主要在 2 GHz 左右及以上频率范围,对于 TD-LTE 尤其如此。TD-LTE 目前可能获得的频率资源都在 2 GHz 以上,为了满足未来业务需求,在 WRC07 大会上,ITU 通过决议将由数字广播电视系统进行数字化改造而释放的“数字红利”频段用于 IMT。此频段空闲频率资源丰富、频道带宽较宽、频率占用变化慢且富于规律,可以通过改变传统的固定频率分配及管理方式,利用认知无线电技术,让 TD-LTE 与现有

授权系统动态共享频谱资源。认知无线电的核心思想是在不影响授权频段的正常通信的基础上,具有认知功能的无线通信设备可以按照某种“机会方式”接入授权的频段内,并动态地利用频谱。对频谱环境的感知是认知无线电技术实现的前提和先决条件,只有在对环境感知和检测的基础上,才能进行对空闲频谱资源的有效利用。而检测门限则是频谱检测的关键参数,其设置合理与否决定了主次业务能否在不互相干扰的前提下最有效地共享频率资源。

国内很多研究课题已经开展了认知无线电在“数字红利”频段应用的研究,为未来潜在商用提供

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-11-02;修回日期:2013-04-28      Received date:2012-11-02;Revised date:2013-04-28

基金项目:国家科技重大专项(2012ZX03003004,2012ZX03006003)

Foundation Item:The National Science and Technology Major Project of China(2012ZX03003004,2012ZX03006003)

<sup>\*\*</sup> 通讯作者:fangjian1986@gmail.com      Corresponding author:fangjian1986@gmail.com

可能性。国际上,美国和欧盟也启动了相关认知无线电项目,而 ITU、ETSI 等国际标准化组织也进行了立项研究。认知无线电指标的确立是开展此工作的前提,IEEE 802.22 根据美国国内 ATSC 数字标准分析了“白频谱”认知无线电应用的检测门限<sup>[1]</sup>,而欧洲根据 DVB-T 的数字电视标准,通过覆盖区信号的概率分布特性研究了不同场景下的检测门限<sup>[2]</sup>。中国于 2006 年发布了数字电视国标,与欧美标准存在差异,国际的研究成果不能完全适应国内情况,因此,需要分析国内认知无线电应用指标。

本文首选建立了数字广播电视与 TD-LTE 系统共享的工作场景,利用数字电视规划方法和系统间共存研究思路,形成了检测门限的计算方法;基于提出的计算方法,仿真了不同场景、不同干扰保护要求下所需的认知 TD-LTE 系统的检测门限;最后通过传统能量检测算法验证仿真门限的可实现性。

## 2 检测门限计算方法

认知检测门限是指达到一定检测概率及虚警概率时,能检测到的最小授权系统信号强度。认知检测门限的选择需要保证认知节点能够有效地检测到授权系统工作状态,避免产生干扰,同时,使得认知系统工作更加高效,并具有工程可实现性。检测门限越低,表明认知系统对授权系统越敏感,对授权系统的干扰就越小。但会导致认知系统的工作效率较低,同时,也给感知节点的实现带来更大的挑战;检测门限越高,认知系统的工作效率越高,但也更容易对授权系统造成干扰。

### 2.1 共享场景

在 UHF 频段的认知无线电应用中,数字广播电视系统作为授权系统,TD-LTE 系统为认知系统。其共享场景如图 1 所示,授权台站发射机位于覆盖区的中心,覆盖区内有多个授权接收机;认知小区发射机位于小区中心,认知小区内有多多个认知接收机。 $D$  是认知小区基站与授权台站发射机间距离, $RI$  和  $RS$  分别为授权台站覆盖区半径和认知小区的覆盖半径。

认知 TD-LTE 系统与广播电视系统共享频谱的同时,可能存在同频干扰,具体表现为在广播电视系统的覆盖区内会存在“盲区”,导致“盲区”的电视接收机无法正常接收信号。

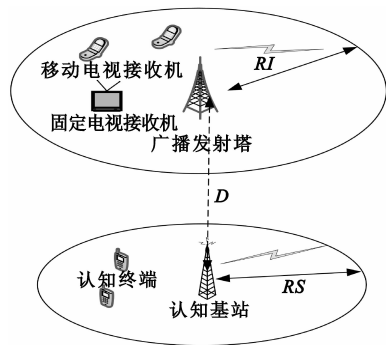


图 1 认知 TD-LTE 工作场景  
fig.1 Working scene of cognitive TD-LTE

同频干扰产生主要是授权系统接入时,认知系统并没有检测到其存在,检测门限的合理设置是保证消除同频干扰的重要因素。

### 2.2 计算方法

基于基站侧进行频谱检测前提下进行分析。首先,参考国内数字电视规划思路计算覆盖区;其次,利用系统间干扰保护要求,计算数字广播电视系统覆盖区的边缘电视接收机干扰要求;在上述基础上分析检测门限;最后,分析检测门限的可实现性。

计算流程如下。

#### 第一步:数字广播电视覆盖区的计算

根据我国数字电视标准<sup>[3-4]</sup>,通过信噪比和噪声功率大小可以计算出最小等效场强,然后,利用所选择数字电视接收机类型选择典型地点概率要求进而计算出此时的最小中值场强(即规划场强),选择典型的发射机参数、典型传播模型(ITU-R P. 1546)计算覆盖半径<sup>[5]</sup>。计算公式如下:

$$P_{\min} = C/N + P_n \tag{1}$$

$$P_{\text{med}} = P_{\min} + P_{\text{mmn}} + Cl \tag{2}$$

$$Cl = u\sigma_l \tag{3}$$

$$\sigma_l = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_m^2} \tag{4}$$

$$Loss_{\text{coverage}} = Pt_{\text{DTV}} + Gt_{\text{DTV}} + Gr_{\text{DTV}} - P_{\text{med}} \tag{5}$$

$$d_{\text{coverage}} = f^{-1}(Loss) \tag{6}$$

式中, $P_{\min}$ 为边缘最小功率; $P_{\text{med}}$ 为边缘中值对应功率; $P_{\text{mmn}}$ 为人为噪声容限,在此取 0; $\sigma_m$ 为大尺度均方差( $\sigma_m = 5.5 \text{ dB}$ ); $\sigma_b$ 为建筑物穿透损耗均方差(dB),在此为 0; $u$ 为分布因子,在此取 95% 时的 1.64; $Gt_{\text{DTV}}$ 为数字广播电视机增益; $Gr_{\text{DTV}}$ 为广播电视接收机最大增益(插入损耗已考虑其中); $Pt_{\text{DTV}}$ 为数字广播电视机发射功率; $Loss_{\text{coverage}}$ 为数字广播电视机与覆盖边缘接收机的路径损耗; $d_{\text{coverage}}$ 为覆盖半径; $f^{-1}(x)$ 为路径损耗函数的逆函数。

第二步:覆盖区边缘数字电视接收机保护距离计算

在基于 TD-LTE 的认知系统中,TD-LTE 典型参数<sup>[7-9]</sup>选取 3GPP 典型参数。认知发射机与数字接收机之间的保护距离计算如下:

$$Loss_{protecting} = P_{t_{LTE}} + G_{t_{LTE}} + G_{r_{DTV}} - I_{DTV} \quad (7)$$

$$d_{protecting} = f^{-1}(Loss_{protecting}) \quad (8)$$

式中,  $Loss_{protecting}$  为认知 LTE 发射机与电视接收机之间的路径损耗;  $P_{t_{LTE}}$  为认知 LTE 发射机的发射功率;  $G_{t_{LTE}}$  为认知 LTE 发射机的最大天线增益;  $I_{DTV}$  为数字电视接收机最大允许干扰电平,在此利用  $I/N$  为 -6 或 -10;  $d_{protecting}$  为数字电视接收机保护距离。

第三步:检测门限计算

在认知 TD-LTE 系统中,基站侧进行频谱探测,即检测模块和基站处于相同的地理位置,因此,检测门限计算如下:

$$P_{th} = P_{t_{DTV}} + G_{t_{DTV}} - f(d_{coverage} + d_{protecting}) \quad (9)$$

式中,  $P_{th}$  为检测门限。

第四步:门限适用性分析

由于能量检测算法作为频谱探测的基本算法,因此,将检测门限作为检测模块的接收机输入的最小电平值,利用能量检测算法的检测性能(虚警概率和检错概率)评估其可用性<sup>[6]</sup>。具体计算公式如下:

检错概率为

$$P_{b\_df} = P(DTV_{level} < r_{th}) = \int_{-\infty}^{r_{th}} f(p) dp \quad (10)$$

虚警概率为

$$P_{b\_fa} = P(Noise_{level} > r_{th}) = \int_{r_{th}}^{+\infty} f(v) dp \quad (11)$$

式中,  $r_{th}$  为检测门限,  $Noise_{level}$ 、 $DTV_{level}$  为相应噪声与数字广播电视的电平值,在此取前文中检测门限大小,  $f(x)$  为信号和噪声的概率密度函数,为了便于分析,在此认为信号和噪声均为高斯分布,因而,其能量求和为  $\chi^2$  分布的变形分布。

3 分析结果

3.1 仿真参数

根据 3GPP TS36.101、26.104<sup>[7-9]</sup> 和我国数字电视国标<sup>[3-4]</sup>,结合国内现有数字电视台站实际资料,选取典型仿真参数如表 1 所示。

表 1 系统参数  
Table 1 System parameters

| 参数                               | 取值               |
|----------------------------------|------------------|
| 中心频率/MHz                         | 700              |
| 认知 TD-LTE 系统带宽/MHz               | 20               |
| 认知 TD-LTE 发射功率/dBm               | 43               |
| 认知 TD-LTE 天线增益/dBi               | 12               |
| 认知 TD-LTE 天线高度/m                 | 30(城市)<br>45(乡村) |
| 噪声系数/dB                          | 5                |
| 认知 TD-LTE 天线增益/dBi               | 12               |
| 认知 TD-LTE 天线高度/m                 | 30(城市)<br>45(乡村) |
| DTV 系统带宽/MHz                     | 8                |
| DTV 发射功率/dBm                     | 60, 70           |
| DTV 发射机天线增益/dBi                  | 9                |
| DTV 发射机天线高度/m                    | 150              |
| DTV 接收机 C/N/dB                   | 20               |
| DTV 接收机天线增益<br>(包括馈线损耗 5 dB)/dBi | 9.15             |
| DTV 接收机天线高度/m                    | 10               |
| DTV 噪声系数/dB                      | 7                |

3.2 仿真结果

如图 2 所示,计算了数字广播电视不同发射功率(10~1 000 kW)时,不同条件下的检测门限。随数字广播电视发射功率的提高,检测门限也相应提高,为了确保不同条件下认知 TD-LTE 系统都不会对数字广播电视造成干扰,选择最小发射功率条件下计算的检测门限。电视接收机干扰门限采用  $I/N = -6$  时,在城区的检测门限为 -69 dBm,郊区为 -87 dBm;电视接收机干扰门限采用  $I/N = -10$  时,在城区的检测门限为 -72 dBm,郊区为 -87 dBm。

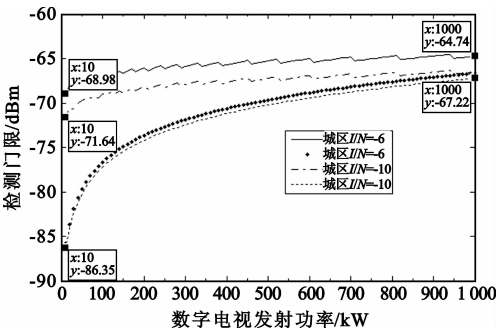


图 2 检测门限性能  
Fig.2 Detection threshold performance

根据前面分析可知,在城市和郊区环境下检测门限分别取 -69 dBm 和 -87 dBm 可以有效地保护授权系统(数字广播电视系统)不受认知 TD-LTE 系统

干扰进行工作。基于  $-69\text{ dBm}$  和  $-87\text{ dBm}$  的检测, 输入电平在  $10\text{ }\mu\text{s}$  和  $1\text{ ms}$  检测时长下进行工作的虚警概率和检错概率如图 3 和图 4 所示, 椭圆区域表示可选的门限区域, 基于 1% 虚警概率和 1% 检错概率考虑, 城区和郊区分别有 8 dB 和 28 dB 的可调范围, 证明了检测门限选择的有效性。

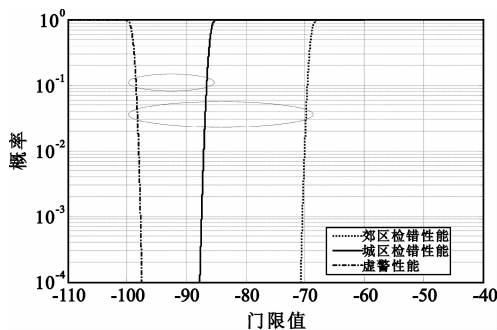


图 3  $10\text{ }\mu\text{s}$  检测时长下的虚警概率和检错概率  
Fig.3 Detection probability of false alarm performance under  $10\text{ }\mu\text{s}$

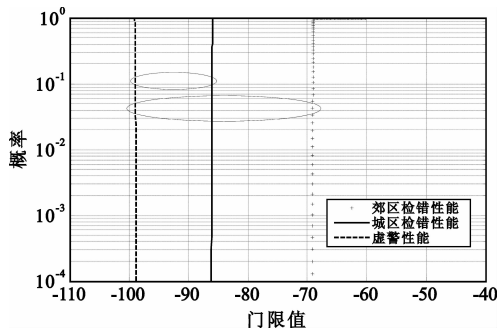


图 4  $1\text{ ms}$  检测时长下的虚警概率和检错概率  
Fig.4 Detection probability of false alarm performance under  $1\text{ ms}$

## 4 结 论

本文基于认知 TD-LTE 系统在数字红利频段工作进行研究, 从系统间干扰分析角度给出了检测门限的计算方法, 并选取我国数字电视标准典型参数分析了认知系统在不同场景时认知检测门限的大小, 并在此基础上, 通过能量检测算法验证了其适用性, 解决了国内在此方面研究的空白。本文对认知系统关键参数的分析方法和建议指标可为未来工程上指标规范、潜在商用等提供借鉴和基础。由于我国模拟电视系统还要继续存在相当长一段时间, 建议后续开展对模拟电视的分析。

## 参考文献:

[1] IEEE Std 802.22<sup>TM</sup> - 2011, IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and information exchange between systems Wireless Regional Area Networks (WRAN) Specific requirements Part 22: Cognitive Wireless RAN

Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Policies and Procedures for Operation in the TV Bands[S].

[2] Technical and Operational Requirements for the Possible Operation of Cognitive Radio Systems in the 'White Spaces' of the Frequency Band 470 - 790 MHz[R]//ECC Report 159. Cardiff:ECC,2011.

[3] GB 20600 - 2006, DTV 地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制 DTV 地面国家标准[S].

GB 20600 - 2006, Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System[S]. (in Chinese)

[4] GY/T237 - 2008, VHF/UHF 频段地面数字电视广播频率规划准则[S].

GY/T237 - 2008, Frequency planning criteria for digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands[S]. (in Chinese)

[5] ITU-R P. 1546 - 4, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz[S].

[6] Fang Jian, Zhu Xiao-pei, Huang Biao, et al. A novel detection scheme to mitigate the TD-LTE interference[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Communications, Circuits and Systems. Chengdu: IEEE, 2010: 59 - 62.

[7] 3GPP TS 36.101, User equipment radio transmission and reception[S].

[8] 3GPP TS 36.104, Base station radio transmission and reception[S].

[9] 3GPP TR 36.942, Radio frequency(RF) system scenarios.[S].

## 作者简介:



方 箭(1986—),男,安徽人,2009 年于北京邮电大学信息与通信工程学院获信号与信息处理系统专业硕士学位,主要从事无线电频谱规划、系统间电磁兼容分析、认知无线电等方面的研究工作;

FANG Jian was born in Anhui Province, in 1986. He received the B.S. degree from Beijing University of Posts and Telecommunications in 2009.

His research concerns the planning of radio spectrum, electromagnetic compatibility analysis, cognitive radio and so on.

Email:fangjian1986@gmail.com

杨文翰(1983—),男,广东人,2011 年于北京邮电大学电子工程学院获微波与电磁场博士学位,主要从事无线电频谱规划、认知无线电等方面的研究工作;

YANG Wen-han was born in Guangdong Province, in 1983. He received the Ph.D. degree from Beijing University of Posts and Telecommunications in 2011. His research concerns the planning of radio spectrum, cognitive radio and so on.

黄 标(1967—),男,安徽人,2004 年于北京邮电大学获工程硕士学位,现为副总工程师,曾获中国通信学会科学技术奖一等奖一项、二等奖二项,获中国通信标准化协会科学技术奖三等奖一项,主要从事系统间电磁兼容分析研究、电波测量和电磁环境保护研究以及 ITU-R IMT-Advanced 关键技术的研究和评估工作,已在国内、国际学术会议和期刊上发表相关学术论文 20 余篇。

HUANG Biao was born in Anhui Province, in 1967. He received the B.S. degree from Beijing University of Posts and Telecommunications in 2004. He is now an associate general engineer. His research concerns EMC. He has published more than 20 papers.