

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R BT.2136-0**建议书  
(12/2020)

**用蒙特卡洛仿真法评估  
其他业务对数字地面电视广播的干扰**

**BT系列  
广播业务  
(电视)**



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电电信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策 (IPR)

国际电联无线电通信部门 (ITU-R) 的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R系列建议书

(也可在线查询<http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>)

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务 (声音)
<b>BT</b>	<b>广播业务 (电视)</b>
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2021年，日内瓦

© 国际电联 2021

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R BT.2136-0建议书\*

用蒙特卡洛仿真法评估其他业务对  
数字地面电视广播的干扰

(2020年)

## 范围

本建议书定义了当采用蒙特卡洛仿真时，用于评估其他业务对数字地面电视广播（DTTB）的干扰的方法。这一建议书还提供了如何根据ITU-R BT.1895建议书中给出的指导性保护标准解释蒙特卡洛仿真结果的指南。

## 关键词

DTTB、蒙特卡洛、服务质量、时间窗口、干扰概率、中断概率

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 《无线电规则》（RR）第5条将某些频段作为主要业务划分给地面广播业务；
- b) 地面广播业务是在有限噪声的基础上规划的，顾及了内在的接收机噪声和外部的无线电噪声；
- c) 广播业务也可在有限干扰的基础上加以规划；
- d) ITU-R P.372建议书描述了在广播业务规划中应用的外部无线电噪声电平；
- e) ITU-R SM.1757建议书和ITU-R SM.2057报告针对使用超宽带技术的设备所产生的集总发射提供了有关各种无线电通信业务保护要求的指导原则；
- f) ITU-R BT.1895建议书承认上述原则并提供相应指导原则，以确保广播接收机遭受到所有辐射的总干扰水平以及无线电通信业务和其他射频发射源的发射，不超过总接收系统噪声功率的特定限制，从避免地面广播系统的性能下降超出可接受的水平；
- g) 在一些ITU-R建议书（如，ITU-R BT.1368和ITU-R BT.2033建议书）和区域性协议中（例如GE-06），规定了一些业务间广播应用的保护标准；
- h) 可采用“确定性”和“概率性”这两种方法评估对DTTB的干扰。“确定性”的方法虽然简单，但并不总能为可能出现的干扰情况提供完整评估；
- i) 蒙特卡洛仿真越来越多地用于某些服务，特别是用于评估与其他无线电通信系统的兼容性；
- j) 用于评估无线电通信系统之间兼容性的蒙特卡洛仿真方法提供了在任一时刻的平均干扰概率或平均吞吐量损失，并且没有考虑因时间的变化（例如干扰网络中发射机的相对位置和/或功率的变化）而可能在一个时间窗口内造成的干扰；

---

\* 无线电通信第6研究组根据ITU-R第1号决议于2021年对本建议书进行了编辑性修订。

- k) 与某些无线电通信系统不同，广播业务不能重新发送未接收到的数据，亦不能调整比特率以适应射频信道的状态，因此服务质量（QoS）强烈依赖于接收点的信号质量；
- l) DTTB满意接收的标准是指接收的业务是准无误码（QEF），并且通过蒙特卡洛仿真得出的DTTB业务中断概率即为一小时内接收信号（例如图片）发生一个或多个干扰事件的概率；
- m) 鉴于上述原因（j、k、l），蒙特卡洛仿真结果对于DTTB可能需要后处理，以便能够考虑到在相关时间窗口内干扰网络发生的状态变化；
- n) 在考虑新划分时，通常需要开展无线电通信业务之间的共用和兼容性研究；
- o) 在此类研究中，需要提供研究中两种业务的技术系统参数值，

认识到

国际电联《组织法》第42至45条（《公约》第193、197、198和199款）明确了各主管部门有义务确保RF频谱的持续可用性并保障其免受有害干扰，

注意到

- a) ITU-R SM.2028号报告 – 蒙特卡洛仿真法，用于不同无线电业务或系统之间的共用和兼容性研究并描述了蒙特卡洛无线电仿真的方法；
- b) ITU-R BT.2469号报告 – 174-230 MHz频段的数字地面广播系统特性，另外，ITU-R BT.2383号报告 – 470-862 MHz频段的数字地面电视广播系统特性，介绍了用于共用和兼容性研究的广播业务参数；
- c) ITU-R BT.2470号报告 – 利用蒙特卡洛仿真对DTTB遭受的干扰建模，提供关于利用蒙特卡洛仿真对DTTB所接收干扰进行建模的额外信息和实例，用于DTTB系统与其他无线电通信业务间的共用和兼容性研究；
- d) ITU-R BT.2265号报告 – 广播业务干扰评估导则，概述了保护广播免受其他业务干扰和来自没有相应频率划分的设备/应用干扰的可能方法，并为协助主管部门以有效方式规划频谱的使用提供指导；
- e) ITU-R M.1634建议书 – 使用蒙特卡洛仿真的地面移动业务系统进行频率共用的干扰保护，是使用蒙特卡洛分析方法的信息来源，并建议在评估潜在干扰时使用概率法；
- f) ITU-R M.2101建议书 – 用于共用和兼容性研究的IMT网络和系统的建模和仿真，介绍了用于IMT与其他系统和/或应用之间共用和兼容性研究的IMT网络建模和模拟方法。因此，这一建议书并未对上述其他系统和应用的系统参数或建模做出任何假设，而仅限于提供IMT系统的信息，

建议

- 1 本建议书附件1中概述的方法应在基于蒙特卡洛仿真的研究中使用，用以评估其他服务对DTTB的干扰；
- 2 附件2中关于广播业务的参数应在此类研究中使用。

本建议书包含以下附件：

附件1 – 蒙特卡洛仿真中使用的方法。

附件2 – 蒙特卡洛仿真中使用的DTTB参数。

## 附件1

## 蒙特卡洛仿真使用的方法

## 1 引言

蒙特卡洛仿真是一种统计方法，广泛用于解决复杂的数学问题、模拟物理现象或理解无法通过分析方法轻松建模的复杂现实问题。蒙特卡洛仿真是基于随机抽样产生大量事件（实验），根据模型描述物理现象。

人们越来越多地使用蒙特卡洛仿真评估移动、固定和广播业务间兼容性研究中的干扰。蒙特卡洛仿真法用于评估双向系统的干扰，可提供任一时刻的平均干扰概率信息。通常，在双向系统中，此概率体现在数据吞吐量的损失上。这种模拟是评估双向系统干扰（阻塞）的理想工具，因为双向系统可以重新发送未接收到的数据。我们需要一种适合评估单向广播系统干扰的方法。

鉴于业务质量是在一小时的时间窗口内测量的，而蒙特卡洛仿真<sup>1</sup>提供了某一时刻的干扰概率，因此使用蒙特卡洛仿真对DTTB遭受干扰的概率进行建模会产生一些独特的问题。

如果建模的对象网络不随时间变化，即干扰源位置是固定的且发射功率恒定，则存在单个事件，且使用蒙特卡洛仿真计算的干扰概率对任何时间窗口都有效。然而，如果网络发生变化，则对于固定干扰源，功率将在关闭和完全开启之间变化，或者如果网络中干扰源的位置发生移动或变化，则计算出的干扰概率仅在网络某一时间或状态下的某一个时刻有效。为了解一小时时间窗口内发生一个或多个干扰事件的概率，需进行如下进一步处理<sup>2</sup>。

## 2 方法

在蒙特卡洛仿真中，根据干扰场景，可能需要生成大量（ $K$ ）事件（实验）才能获得可靠结果。蒙特卡洛仿真产生的事件是独立的 – 任一事件的结果对所有其他事件的概率都没有影响。

基于给定的干扰标准门限值（ $C/I$ 、 $C/(I+N)$ 、 $I/N$ 或 $(N+I)/I$ ），从接收的有用和干扰信号电平（ $DRSS$ 和 $IRSS$ ）的生成数据阵列计算干扰概率( $p_I$ )。为 $K$ 事件计算的干扰概率表示为：

$$p_I = 1 - p_{NI} \quad (1)$$

其中 $p_{NI}$ 是接收机不受干扰的概率。该概率可以针对不同的干扰类型（无用发射、阻塞、过载和互调）或其组合加以计算。

应将干扰标准 $C/(I+N)$ 用于评估干扰发射机对DTTB接收的影响，其中 $C/(I+N)$ 等于DTTB系统的 $C/N$ 。恒定干扰源的发射功率 $p_{NI}$ 可采用如下方式计算：

$$p_{NI} = P\left(\frac{DRSS}{IRSS_{composite+N}} \geq \frac{C}{I+N}\right), \text{ 用于 } DRSS > Rx_{sens}$$

<sup>1</sup> ITU-R SM.2028号报告提供了蒙特卡洛仿真法的背景信息，用于评估无线电通信系统之间的兼容性及其在频谱工程高级蒙特卡洛分析工具（SEAMCAT）软件中的应用。

<sup>2</sup> ITU-R BT.2470号报告提供了关于本建议书中描述的蒙特卡洛方法的更多信息以及计算示例。

$$= \frac{\sum_{i=1}^M 1\left\{\frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N}\right\}}{M} \quad (2)$$

式中：

$$1\{\text{条件}\} = \begin{cases} 1, & \text{如果条件得到满足} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)}$$

*DRSS*: 接收到的有用信号电平

*IRSS*: 接收到的干扰信号电平

*R<sub>x</sub>sens*: 接收机的灵敏度

*M*: 事件数量，其中  $DRSS > R_{x\text{sens}}$ 。注意，大多数情况下  $M < K$ （生成事件的数量）

*L*: 干扰发射机的数量

注意， $\frac{DRSS}{IRSS_{composite}+N} \geq \frac{C}{I+N}$  条件负责检查从不同固定干扰接收的干扰信号之和，是否在某一时刻导致干扰进入 DTTB 接收机。

存在干扰信号时，DTTB 接收的衰减可以很容易地使用如下公式计算：

$$\Delta p_I = P_I(N+I) - P_I(N) \quad (3)$$

式中：

$P_I(N)$ : 仅存在噪声时的  $p_I$

$P_I(N+I)$ : 同时存在噪声和干扰时的  $p_I$ 。

对于公式(2)，很明显  $P_I(N) = 0$ 。那么便可得出以下公式：

$$\begin{aligned} \Delta p_I &= P_I(N+I) \\ &= p_I \end{aligned} \quad (4)$$

从公式(4)可以得出结论，在存在干扰信号的情况下，DTTB 接收的劣化就是蒙特卡洛仿真中的  $p_I$ ，见公式(1)和(2)所述。

应该注意的是， $p_I$  作为模拟区域内所有样本的平均概率，将受到正在建模的干扰场景的显著影响。例如，在 DTTB 覆盖区域边缘的  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  像素中计算的  $p_I$ ，由于有用信号电平低，将远高于在整个 DTTB 覆盖区域中计算的  $p_I$ 。

请记住  $p_I$  在时间上保持不变的也很重要。如果我们认为出现干扰(*I*)和不出现干扰(*NI*)代表干扰状态的伯努利随机变量 *X* 的两个值，那么可以得出：

$$\begin{aligned} P(X=I) &= p_I \\ P(X=NI) &= 1 - p_I \end{aligned}$$

可使用下述公式计算DTTB接收位置出现劣化的概率( $\Delta p_{RL}$ ):

$$\begin{aligned}\Delta p_{RL} &= p_{RL} - (p_{RL} - p_I) \\ &= p_I\end{aligned}\quad (5)$$

式中:

$p_{RL}$ : 目标接收位置概率

$p_I = 1 - p_{MI}$ : 这是使用蒙特卡洛仿真计算的干扰概率。

## 2.1 固定干扰源

对于固定干扰源, 即如果干扰源不移动(例如移动基站), 干扰对DTTB覆盖区域的影响通常表现为因干扰而无法确保所需服务质量(QoS)的空洞(或区域)。这些空洞通常位于干扰发射机附近。

### 2.1.1 对于发射功率恒定的固定干扰源, DTTB接收干扰概率的计算

对于发射功率恒定(时间不变)的固定干扰源, 存在单一事件且使用蒙特卡洛仿真计算出的干扰概率对任何时间窗口都有效。

### 2.1.2 对于发射功率变化的固定干扰源, DTTB接收干扰概率的计算

如果干扰源的发射功率随时间依据占空比或给定的概率分布而变化, 则不能根据公式(2)适当地计算 $p_{MI}$ , 因为DTTB服务质量是在一个小时的时间窗口(TW)内做出评估。仅当干扰源发射功率为2.1.1所述常数时, 才能使用公式(2)。

例如, 如果给定位置的DTTB接收机受到固定干扰发射机的干扰, 且该发射机在100%的时间内以恒定功率发射, 那么根据公式(1)和(2)计算的 $p_I$ 将为1(100%)。现在, 如果同一个发射机的占空比为50%, 即50%的时间是关闭的, 其余50%的时间是开启的, 则计算出的 $p_I$ 将是0.5(50%)。如果占空比是10%, 那么计算出的 $p_I$ 将是0.1(10%), 以此类推。然而, 从观察者的角度看, DTTB接收到干扰发射机的系统性干扰, 即在所有情况下,  $p_I = 1$ (100%)。事实上, 在一个小时的时间窗口内, 无论DTTB接收是在100%的时间内中断, 还是仅仅在10%的时间内中断, 都不会改变在这两种情况下体验到不可接受的服务质量的观感。

该占空比亦经常建模为基站发射功率的有效降低状态。与基站以最大功率发射时相比, 50%的占空比对应于50%的活动因子, 该活动因子的建模为功率降低3 dB且计算出的 $p_I$ 随之降低。这种方法对于涉及DTTB的研究无效, 因为采用这种方法, 发射机永远不会在一个小时的时间窗口内以其最大功率建模。

在上文考虑的干扰场景中, 当干扰源发射功率根据给定概率分布随时间变化时, 也会出现类似问题。从对DTTB的实际干扰的角度来看, 相关方需要关于干扰源是否在一小时的时间窗口内, 在某点以全功率工作的信息。如果是, 那么可以通过假设干扰源以最大功率工作, 估算DTTB接收机受到来自单个干扰源的一个或多个干扰事件的干扰比。这适用于单个干扰源的情况。然而, 如果有一个以上的干扰源均以全功率工作, 功率和( $IRSS_{composite}$ )将造成干扰概率的高估。在这种情况下, 如果有一个以上的干扰源且所有干扰源都以全功率工作( $p_{I\ single} < p_I < p_{I\ multiple}$ ), 实际 $p_I$ 将介于两者之间。

基于上述观察, 为考虑到干扰发射功率随时间的变化我们对公式(2)做出修改, 同时亦考虑到给定干扰发射机在一小时时间窗口内的某一点以最大功率工作的事实。

因此，在存在固定干扰源的情况下评估无线电业务或系统对DTTB的干扰时， $p_{NI}$ 的计算包括以下所需的逻辑检查：

$$p_{NI} = P \left( \left( \frac{DRSS}{IRSS_{composite}+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \wedge (P_{MAX_{check}} = L) \right), \text{ 对于 } DRSS > R_{x_{sens}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{1} \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}^{(i)}+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \wedge (P_{MAX_{check}}(i)=L) \right\}}{M} \quad (6)$$

式中：

$$\mathbf{1}\{\text{条件}\} = \begin{cases} 1, & \text{如果条件得到满足} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)}$$

$$P_{MAX_{check}}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}}^{(j)}+N} \geq \frac{C}{I+N} \right\}$$

$M =$  事件数量，其中 $DRSS > R_{x_{sens}}$ 。注意，大多数情况下 $M < K$

$L =$  干扰发射机的数量

$IRSS_{P_{MAX}}$ : 时间不变的最大发射功率的接收干扰信号电平。

请注意：

$\frac{DRSS}{IRSS_{composite}+N} \geq \frac{C}{I+N}$  检查从不同固定干扰源接收的干扰信号之和是否在时刻 $T_x$ 给DTTB接收机造成干扰。

$\frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}}^{(j)}+N} \geq \frac{C}{I+N}$  检查以最大功率工作的发射机(j)是否在一个时间窗口内对DTTB接收机造成干扰。

还要注意的，对于给定的时间实例 $i$ ， $L$ 个 $iR_{SS_{P_{MAX}}^j}$ 是独立变量，其中指数 $i$ 对应于受干扰接收机接收的第 $j$ 个干扰信号。因此， $L$ 个 $iR_{SS_{P_{MAX}}^j}$ 干扰信号中的一个相对于所有其他信号总是占有优势。占主导地位的 $iR_{SS_{P_{MAX}}}$ 电平称为 $iR_{SS_{P_{MAX}}^j}$ 。

对于某给定的时间实例 $i$ ：

- 如果 $\frac{dRSS(i)}{iR_{SS_{P_{MAX}}_{max}(i)}+N} \geq \frac{C}{I+N}$ ，则 $P_{MAX_{check}}(i) = L$
- 如果 $\frac{dRSS(i)}{iR_{SS_{P_{MAX}}_{max}(i)}+N} < \frac{C}{I+N}$ ，则 $P_{MAX_{check}}(i) = 0$

因此，

$$P_{MAX_{check}}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}}^{(j)}+N} \geq \frac{C}{I+N} \right\}$$

$$= \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}}_{max}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N} \right\}$$



那么，公式(6)可改写为以下形式，其中包含所需逻辑检查：

$$p_{NI} = \frac{\sum_{i=1}^M 1 \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \wedge \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{PMAXmax}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \right\}}{M} \quad (7)$$

### 2.1.3 干扰概率与I/N的关系

蒙特卡洛仿真的结果提供了干扰概率 $p_i$ 。ITU-R BT.1895建议书提供了关于允许干扰增量（10%或1%）的指导意见，具体取决于干扰源是否为共同主要业务。如表1所示，BT.1895提供的百分比分别等于-10 dB和-20 dB的I/N，并且对于95%的位于DTTB覆盖范围边缘的位置，存在等效的干扰概率。

表1

DTTB覆盖范围边缘100 m × 100 m像素中规定的干扰概率

为95%的位置规定的干扰概率 ( $p_I$ )，相当于ITU-R BT.1895建议书中为DTTB覆盖边缘100 m × 100 m像素提供的保护。			
$p_I = \Delta p_{RL}$ (%) (95%的位置)	0.086	0.869	2.22
相等的I/N (dB)	-20	-10	-6

注1：-10 dB和-20 dB的I/N相当于ITU-R BT.1895建议书中提供的指导值。-6 dB的I/N超出了BT.1895的数值，经常在某些地区的兼容性研究中使用。

注2：按小区面积计算，在小区边缘服务的95%位置的值为 $99.4 \leq X \leq 99.6$ （见ITU-R BT.2470号报告）<sup>3</sup>。

## 2.2 移动干扰源

移动干扰源可能会改变其：

- 根据功率控制方案及时供电；
- 不同时间位置和地点。

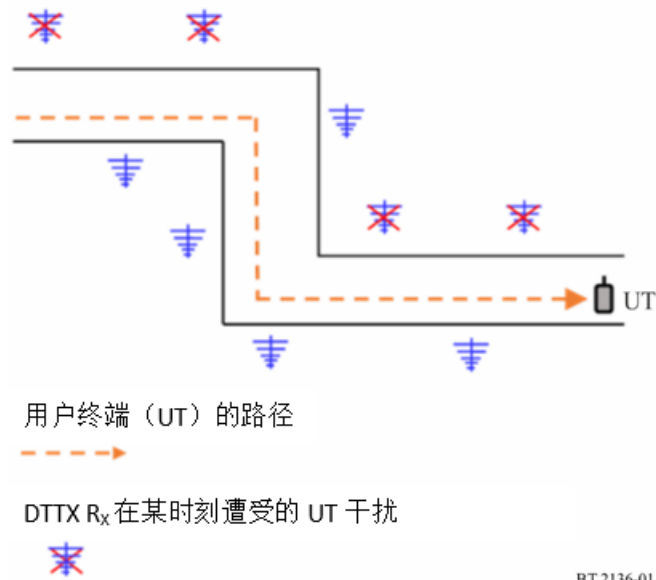
位置或地点的改变可能对不同的DTTB接收机造成连续干扰，或者可能使其进入特定接收机的范围，如图1所示。

显然，此类干扰对DTTB覆盖区域的影响不会表现为无法确保所需服务质量的空洞（或区域）。因此，对于移动干扰源（例如移动用户终端），干扰对接收位置概率（ $P_{RL}$ ）的影响不能按等式(5)所述加以估算。

<sup>3</sup> 小区边缘与区域覆盖之间关系的估计。作者：Jakes，《微波移动通信》第2.5.3节，第126页，IEEE出版，1993年。

图1

移动干扰源（用户终端）对 DTTB 接收的影响



BT.2136-01

因此，对于移动干扰源，在评估其对DTTB接收的影响时，问题变得更加复杂，其原因在于需要考虑它们随时间的移动。应该清楚的是，等式(1)和(2)或等式(1)和(6)所描述的蒙特卡洛仿真计算得出的 $p_I$ ，不能直接用于评估移动干扰源对DTTB接收的影响，因为 $p_I$ 不提供关于DTTB接收机在给定时间窗口内遭受一个或多个干扰事件影响的概率信息。

### 2.2.1 中断的概率

如上节所述，针对移动干扰源应考虑时间的连续性，将蒙特卡洛仿真中计算的 $p_I$ 转换为更好反映干扰对DTTB接收影响的概率。这个概率叫做“中断概率”。用于计算该概率的方法描述如下。

通过公式(1)和(2)或公式(1)和(6)从蒙特卡洛仿真导出的 $p_I$ 提供了关于DTTB接收机在任何时刻（瞬间）遭受干扰的概率信息。此信息没有给出DTTB接收机在给定时间窗口内遭受一个或多个干扰事件的概率。因此，有必要扩展蒙特卡洛仿真的结果，以便能够考虑到评估DTTB服务质量的时间段，即1小时。

干扰概率（ $p_I$ ）不随时间变化（恒定）。如果我们认为出现干扰（ $I$ ）和不出现干扰（ $NI$ ）代表干扰状态伯努利随机变量 $X$ 的两个值，那么可以得出：

$$P(X=I) = p_I$$

$$P(X=NI) = 1 - p_I$$

式中：

$I$ : 干扰

$NI$ : 无干扰。

现在让我们把一小时的时间窗口分成“ $n$ ”个时间间隔。如果适当选择 $n$ 值，则可将每个时间间隔视为伯努利试验（随机试验），结果为“ $I$ ”和“ $NI$ ” [7]。这些结果称为“干扰事件”。在一小时的时间窗口内，可认为发生了“ $n$ ”次重复的伯努利试验，这里显然假设每次试验都是独立的，那么DTTB接收机在时间窗口内受到 $k$ 次干扰事件影响的概率表示如下：

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p_I^k (1 - p_I)^{n-k} \quad (8)$$

式中：

- $p_I$ : 等式(1)和(2)所述蒙特卡洛仿真计算得出的干扰概率
- $n$ : 独立试验的数量
- $k$ : 导致产生干扰事件的试验次数。

DTTB接收机不受任何干扰事件影响的概率通过在公式(8)中设置 $k = 0$ 给出：

$$P(X = 0) = (1 - p_I)^n$$

最后，DTTB接收机遭受至少一个干扰事件影响的概率可以由下式计算：

$$P(X > 0) = 1 - (1 - p_I)^n$$

这种概率称为中断概率（ $p_d$ ），表示如下：

$$p_d = 1 - (1 - p_I)^n \quad (9)$$

这种概率 $p_d$ 可以理解为，在给定时间窗口内DTTB服务有一个或多个不相关中断的概率。时间窗口应该反映用于评估DTTB业务质量的内容，而这些内容又认为是电视观众可以接受的（一个小时）。

## 2.2.2 独立事件的产生

独立事件可以因干扰源（用户终端）的移动或不同干扰源（用户终端）之间的切换产生。

### 2.2.2.1 移动用户终端生成的独立网络配置

对于给定的时间窗口和UT的速度分布，UT移动一定距离的比例可以很容易地计算出来。根据UT的移动距离和去相关距离，UT在一个时间窗口产生的不相关状态数“ $n$ ”可以推导如下：

$$n = TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i} \quad (10)$$

式中：

- $D$ : 以米为单位的去相关距离
- $V$ : 以米/秒为单位的UT速度
- $P$ : 按速度 $V$ 运动的UT比例
- $k$ : 速度值的数量
- $TW$ : 以秒为单位的时间窗口（对于DTTB窗口 = 3 600秒）。

### 2.2.2.2 在基于OFDMA/SC-FDMA的移动网络中由调度程序生成的独立网络配置

在UT的请求下发起上行链路传输物理资源块（PRB）的划分，并由上行链路调程序针对每个用户终端实施。调度程序为每个UT分配PRB独立于UT之前的请求，因此可视为一个独立状态。

当调度程序在小区内注册的UT内循环时，其在某时间窗口产生的独立状态数量由下式给出：

$$n = \frac{M}{A} \quad (11)$$

式中：

$M$ ： 时间窗口内每个扇区（或小区）活跃UT的最大数量

$A$ ： 蒙特卡洛仿真中每个扇区（或小区）的平均UT数。

### 2.2.3 判定指定时间窗口内独立网络配置的数量

如前两节所述，在指定的时间窗口内，独立状态变化的数量 $n$ 取决于运动干扰源的数量和干扰源在干扰事件相对于前一事件变得独立之前需要移动的距离。可使用等式(10)和(11)计算由UT在时间窗口中产生的不相关事件的数量“ $n$ ”：

$$n = \frac{M}{A} + TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i} \quad (12)$$

$M$ ： 时间窗口内每个扇区（或小区）活跃UT的最大数量

$A$ ： 蒙特卡洛仿真中每个扇区（或小区）的平均活跃UT数。

$D$ ： 以米为单位的去相关距离

$V$ ： 以米/秒为单位的UT速度

$P$ ： 按速度 $V$ 运动的UT比例

$k$ ： 速度值的数量

$TW$ ： 以秒为单位的时间窗口（对于DTTB时间窗口 = 3 600秒）。

如果在时间窗口内没有UT发生移动，要么是因为UT是固定的，要么是因为时间窗口非常短 – 例如1毫秒，求和项将为零或非常接近零，事件的数量将由 $M/A$ 提供。因此， $M/A$ 将在1和时间窗口内活跃UT的数量之间变化 – 在某些情况下，数量可能是相同的。

例如，如果UT的状态每1毫秒改变一次，而时间窗口短于1毫秒，则 $M = A = 1 = n$ ，且根据等式(9)， $p_a$ 将等于 $p_l$ 。

如果相对于网络改变状态的时间而言，时间间隔较长，例如时间间隔为1小时（3 600秒），则可能会有大量UT处于活跃状态。在一小时的时间窗口内，小区内的UT可能保持静止。有些会在小区内移动，另一些则会移动并离开小区，还有一些会进入小区。我们感兴趣的是在时间窗口期间至少发射一次的UT的数量。每个在时间窗口发射的UT（数量为 $M$ ），至少会生成或促成一个事件。此外，还需考虑在蒙特卡罗仿真中考虑了多少个UT（数量为 $A$ ）。在只考虑一个UT的情况下，会有 $M$ 个事件。如果在蒙特卡洛仿真中任何时候都有一个以上的UT活跃，那么就需要在生成的事件数量中考虑此UT。因此，在共用和兼容性研究中的 $M/A$ 、 $M$ 和 $A$ 应该与所考虑的系统和环境相适应。

#### 2.2.4 中断概率和对DTTB覆盖范围的影响

针对固定干扰源，如第2节所示，通过蒙特卡洛仿真计算的 $p_I$ 是接收位置概率（ $\Delta p_{RL}$ ）。换言之，在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的像素中计算出2%的 $p_I$ 意味着在2%的像素区域中，所有DTTB接收机都可能受到固定干扰源的干扰。受干扰区域表现为无法保证所需服务质量的固定空洞（或区域），这直接展示了干扰对DTTB覆盖的影响。

针对移动干扰源，蒙特卡洛仿真计算出的干扰比不能直接用于评估干扰对DTTB覆盖的影响，因为此类干扰源对DTTB覆盖区域的影响不会表现为无法确保所需服务质量的固定空洞（或区域）。这就是第2.2.1节中引入 $p_d$ 的原因， $p_d$ 是指在一个时间窗口（ $TW$ ）内，接收信号（如图像）至少发生一次干扰事件的概率。换言之， $p_d$ 是在 $TW$ 中不能保证所需服务质量的概率。

然而，可以证明 $p_d$ 值低于1%时， $p_d$ 和 $\Delta p_{RL}$ 之间存在等价关系，而当 $p_d$ 高达3%时，与 $\Delta p_{RL}$ 有很好的相关性（见ITU-R BT.2470号报告）。对于更高的 $p_d$ 值，由于 $p_d$ 和 $\Delta p_{RL}$ 之间差异很大，因此为了 $p_d$ ，无法直接进行比较。

但是，在比较针对固定干扰源计算的 $p_I$ 和针对移动干扰源计算的 $p_d$ 时，重要的是要记住，对于一种情况，受干扰区域不会显示为固定区域。这些受干扰的区域是在给定DTTB覆盖区域的任何地点出现后又消失的小区域。这种行为有碍识别受干扰区域并充分实施缓解技术，以解决或尽量减少对DTTB的干扰。

## 附件2

## 蒙特卡洛仿真中使用的DTTB参数

表2

## DTTB参数

a) 独立于DTTB系统<sup>(1)</sup>

参数 <sup>(2)</sup>	单位	仿真要求
等效全向辐射功率 (e.i.r.p.)	dBm	必须
发射机天线高度	米	必须
接收机天线高度	米	必须
中心频率	MHz	必须
信道带宽	MHz	用于判定有效带宽
噪声系数 (F)	dB	必须
噪声功率 (P <sub>n</sub> )	dBm	必须
小区边缘定位概率 (LP)	%	用于计算覆盖半径
覆盖区域位置概率	%	判定可接受/允许干扰概率必备
高斯置信因子为小区边缘覆盖概率的95% ( $\mu_{95\%}$ )	%	计算95%的对数正常衰落余量 (1m) 必备
阴影损失标准方差 ( $\sigma$ )	dB	必须
95%的对数正常衰落余量 ( $L_m$ )	dB	计算LP=95%的P <sub>mean</sub> 必备
用于LP的P <sub>mean</sub> = 95%	dBm	计算覆盖半径必备
电缆损耗 (L <sub>cable</sub> )	dB	必须
接收机天线增益 (G <sub>iso</sub> )	dBi	必须
覆盖半径通过ITU-R P.1546传播模型计算 (波束倾角= 1°和1.6°)	公里	必须
相邻信道选择性 (ACS)	dB	必须
玻尔兹曼常数 (k)	J/K	计算噪声功率必备
绝对温度 (T)	K	计算噪声功率必备

<sup>(1)</sup> 不同的DTTB系统和各个国家/地区根据其要求和规划方案可能使用不同的参数值。

<sup>(2)</sup> DTTB系统的参数可以参见ITU-R BT.2383号报告。

b) 依赖DTTB系统<sup>(3)</sup>

参数	单位	仿真要求
有效带宽	MHz	必须
小区边缘的载波噪声比 ( $C/N$ )	dB	计算覆盖半径必备
保护标准 ( $C/(N+I)$ ) <sup>(4)</sup>	dB	必须
接收机灵敏度 ( $P_{min}$ )	dBm	必须

<sup>(3)</sup> 各个国家/地区可根据其要求和规划方案使用不同的参数值。

<sup>(4)</sup> 其他保护标准（例如， $C/I$ 或 $I/N$ ）可由各个国家/地区选择。

---