

文章编号:1007-5321(2018)04-0051-05

DOI:10.13190/j.jbupt.2018-038

# 基于干扰抑制的自适应 MBSFN 资源分配算法

陈 雷

(中国刑事警察学院 公安情报学系, 沈阳 110035)

**摘要:** 针对传统多播/广播单频网(MBSFN)资源分配算法主要以降低资源块使用数量为目标,并未考虑 MBSFN 的干扰抑制问题,提出了一种基于干扰抑制的自适应 MBSFN 资源分配算法(IS-ARAAM). 该算法对 MBSFN 区域拓扑关系进行数学建模,同时结合基站发射功率对 MBSFN 间同频干扰的影响,给出了完善的资源复用距离计算公式. 仿真结果表明,IS-ARAAM 算法在系统覆盖和速率上较传统算法均有明显改善,且能够通过调整资源复用距离来控制资源块消耗数量.

**关 键 词:** 多播/广播单频网; 干扰抑制; 资源分配; 自适应

中图分类号: TN929.53

文献标志码: A

## Interference Suppression Based Adaptive Resource Allocation Algorithm in MBSFN

CHEN Lei

(Department of Public Security Intelligence, Criminal Investigation Police University of China, Shenyang 110035, China)

**Abstract:** The traditional resource allocation algorithms mainly aim at reducing the required resource units, without considering the interference suppression of multicast /broadcast single frequency network (MBSFN). Therefore, an interference suppression based adaptive resource allocation algorithm in MBSFN (IS-ARAAM) is proposed. The topology relationship between MBSFNs is modeled and the transmit power of base station is also taken into consideration when calculating the reuse distance. Then IS-ARAAM is obtained according to the reuse distance. Simulations demonstrate IS-ARAAM is more effective to improve the rate and coverage of network comparing to traditional algorithms. Meanwhile, IS-ARAAM also provides a way to control the number of required resource blocks through adjusting the reuse distance.

**Key words:** multicast/broadcast single frequency network; interference suppression; resource allocation; adaptive

3GPP R6 中引进的多媒体多播/广播技术 (MBMS, multicast/broadcast multimedia services)<sup>[1-2]</sup>, 可以实现高速的多媒体多播/广播业务传输. 传统的单小区 MBMS 传输无法满足 4G + 系

统的高服务质量、高速率的业务需求. 因此, 国内外科技研究人员都对多小区 MBMS 传输开展了广泛的研究. 其中, 多播/广播单频网 (MBSFN, multicast/broadcast single frequency network) 作为一种有

收稿日期: 2018-03-01

**基金项目:** 辽宁省博士科研启动金项目(201601083); 辽宁省自然科学基金项目(20180550046); 辽宁省教育科学“十三五”规划 2017 年度基金资助项目(JG17DB537); 中国刑事警察学院院级项目(D201703032); 国家自然科学基金项目(61172058); 2017、2018 大学生创新项目

**作者简介:** 陈 雷 (1981—), 男, 讲师, E-mail: chenleikb@bupt.edu.cn.

明显优势的传输技术获得了广泛而深入的研究与探讨<sup>[3-5]</sup>. 目前,业界已有一些针对 MBSFN 采用资源分配技术的研究成果<sup>[6-10]</sup>.

MBSFN 资源分配的基本算法是将覆盖区域构建成相交或不相交 2 种情况<sup>[6-7]</sup>,若有重叠区域,则需要分配不同的资源,以保证重叠区域的基站能无冲突地传输数据,但该算法消耗的资源块过多. 因此,Vihang 等<sup>[8]</sup>给出了一种降低所需资源块数量的资源分配算法,给有相交区域的 MBSFN 分配不同资源块,而互不相交的 MBSFN 区域则可使用相同资源. 该算法虽然能节省资源块的消耗,提高资源利用率,但是其中处于 MBSFN 区域边缘的用户会遭受到很严重的来自使用相同资源的相邻 MBSFN 的同频干扰. 为了解决上述问题,Aoxue 等<sup>[9]</sup>提出同时满足不相交且不相邻的 MBSFN 区域才能使用相同资源的资源分配算法. 该算法虽然能在一定程度上提高系统吞吐量和覆盖率,但只有 MBSFN 区域面积相对较大时才有效. 除上述情况之外,由于不同 MBSFN 内传输业务的服务质量(QoS, quality of service)需求不同,各基站使用的发射功率也不同. 当基站分配的发射功率相对较大时,其对附近使用相同资源的 MBSFN 内用户的干扰也较大,就需要适当加大复用距离. Rebhan 等<sup>[10]</sup>通过调整发射功率来提高单频网的覆盖率.

针对以上问题,笔者考虑拓扑结构和发射功率变化的影响,提出了基于干扰抑制的自适应 MBSFN 资源分配算法(IS-ARAAM, interference suppression based adaptive resource allocation algorithm in MBSFN). 该算法通过基站位置信息对区域中所有 MBSFN 的拓扑关系进行简单建模,以量化 MBSFN 的大小和相对位置关系对同频干扰的影响. 除此之外,还考虑了传输功率对复用距离的影响.

## 1 系统模型

MBSFN 传输模式下的网络模型如图 1 所示.

图 1 中不同标记的小区分别表示不同的 MBSFN 区域,其分别使用不同的资源块,承担不同的传输业务. 小区 C1 为 MBSFN2 与 MBSFN3 的交叉区域,也就是其同时传输 MBSFN2 和 MBSFN3 的 2 种业务. MBSFN1 和 MBSFN4 则是 2 个资源复用的区域,使用相同的资源块传输各自的业务. U1 为 MBSFN1 中的用户,其接收到的有用信号是来自 MBSFN1 中包含的所有小区基站发送的合并信号,

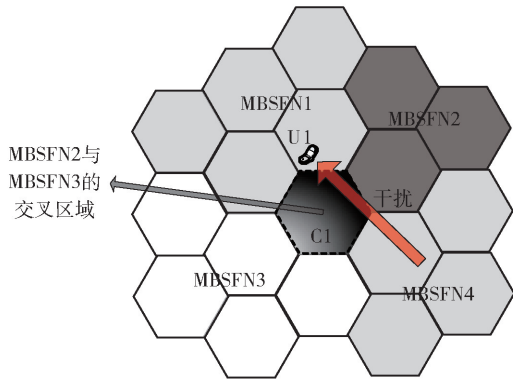


图 1 MBSFN 模型示意图

其受到的干扰是来自 MBSFN4 中所有小区基站发送信号的合并. 网络中任一用户  $l$  接收的信干噪比为

$$S_l = \frac{\sum_{t \in \Gamma} P_t L_{t,l}^{-\beta} |h_{t,l}|^2}{\sum_{t \notin \Gamma, t \in \Psi} P_t L_{t,l}^{-\beta} |h_{t,l}|^2 + BN_0} \quad (1)$$

其中: $P_t$ 为第  $t$  个基站的发射功率, $L_{t,l}$ 为第  $t$  个基站到用户  $l$  的传输距离, $\beta$  为路径损耗指数, $|h_{t,l}|^2$  为第  $t$  个基站到用户  $l$  之间信道的快衰落值, $N_0$  为加性高斯白噪声信道的功率谱密度, $B$  为系统带宽, $\Gamma$  为用户  $l$  所在的 MBSFN 区域包含的小区集合, $\Psi$  为与用户  $l$  所在的单频网使用相同资源的网络中所有小区集合.

由于多播速率取决于通信质量最差的用户,所以用户  $l$  所在的单频网区域能够达到的传输速率为

$$C = B \times \log(1 + \min_{l \in U} S_l) \quad (2)$$

其中  $U$  为与用户  $l$  位于同一个 MBSFN 区域内的多播用户的总数或集合. 为了有效地衡量单频网的多播性能,还考虑了性能指标——覆盖率:

$$F = \frac{|U_l|}{|U|}, \quad U_l = \{l | l \in U, S_l > S_1\} \quad (3)$$

其中: $S_1$ 为信干噪比设定门限, $U_l$ 为多播用户集合  $U$  中的信干噪比不小于设定门限值  $S_1$  的用户总数或集合.

## 2 IS-ARAAM 算法

### 2.1 MBSFN 拓扑关系建模

MBSFN 拓扑关系模型如图 2 所示. 因蜂窝网络中基站位置信息是已知的,将每个 MBSFN 区域中距离最远的 2 个基站进行连线,并求出各自的中点,即图 2 中的  $o_1, o_2, o_3$ .  $\alpha_{i,j}$  和  $D_{i,j}$  分别表示 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  的 2 条最远基站连线的夹角及 2 条连线的中心距离,如图 2 中  $\alpha_{1,3}$  和  $D_{1,2}, D_{1,3}$  所示. 显

然,中心距离  $D_{i,j}$  越大,2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  之间的干扰就越小. 而且,当  $D_{i,j}$  为设定距离时,  $\alpha_{i,j}$  越大, MBSFN 之间受严重干扰的小区数就越少,干扰也越小. 并且,2 个单频网  $S_i$  和  $S_j$  包含的小区数越多,各自合并后的信号就越强,相互间的干扰影响也越大.

根据以上分析,得到 2 个 MBSFN  $M_i$  和  $M_j$  之间的资源复用距离  $d_{i,j}$  的计算公式为

$$d_{i,j} = k |\cos \alpha_{i,j}| \frac{R}{D_{i,j}} \frac{n}{n_0} \quad (4)$$

其中:比例系数  $k$  为常数,且  $k > 0$ ;  $R$  为小区半径;  $n = \max(n_i, n_j)$ ,  $n_i$  和  $n_j$  分别为 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  各自包含的小区个数;  $n_0 = 1$ ,即以单小区结构作为基准.

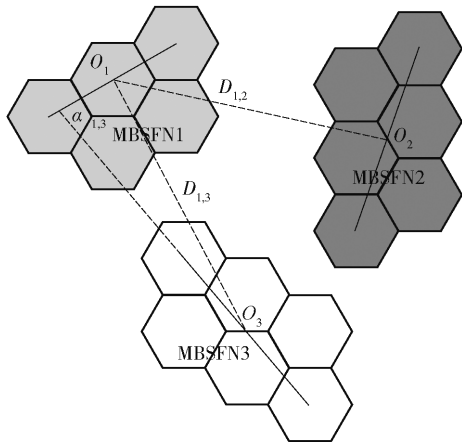


图2 MBSFN 拓扑关系建模

## 2.2 功率影响的量化

因不同的 MBSFN 传输的业务有不同的 QoS 需求,当某个业务的 QoS 需求很高时,基站所分配的传输功率也相对较大,此时对周围 MBSFN 的干扰也会增加,尤其是处于 MBSFN 区域边缘的用户,因而应该适当增大资源复用距离. 在 IS-ARAAM 算法中对式(4)进一步完善后,得到资源复用距离的优化计算公式为

$$d_{i,j} = k |\cos \alpha_{i,j}| \frac{R}{D_{i,j}} \frac{n}{n_0} \frac{P}{P_0} \quad (5)$$

其中: $P$  为 MBSFN 中的小区基站使用的实际发射功率,这里假设各个 MBSFN 都使用相同的发射功率,如果 2 个 MBSFN  $M_i$  和  $M_j$  使用不同的发射功率,则  $P$  为其中的较大值; $P_0$  为基站的最大发射功率.

## 2.3 算法步骤

**步骤1** 将网络中所有 MBSFN 按照各自包含的小区个数的多少进行降序排列的编号,并以  $M_i$  (自然数下标  $i$  为 MBSFN 的序号)顺序标记之.

**步骤2** 计算任意 2 个 MBSFN  $M_i$  和  $M_j$  之间的最近距离,即任意 2 个 MBSFN 包含的各小区中相距最近的 2 个基站间的距离,得到一个维数为  $m \times m$  的最小距离矩阵  $\mathbf{d}_{\min}$ .

**步骤3** 根据式(5),分别计算任意 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  之间的资源复用距离  $d_{i,j}$ ,得到一个维数为  $m \times m$  的资源复用距离矩阵  $\mathbf{d}$ .

**步骤4** 构造单频网的拓扑关系对称矩阵  $\mathbf{X}$ : 当 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  的最小距离大于资源复用距离,即最小距离矩阵  $\mathbf{d}_{\min}$  中对应 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  的元素不小于资源复用距离矩阵  $\mathbf{d}$  中的对应元素时,设置其拓扑关系对称矩阵  $\mathbf{X}$  中的对应元素  $x_{i,j} = 0$ ,表明该 2 个单频网之间的距离足够远,符合资源复用条件,能够使用相同资源而不造成严重干扰;否则,最小距离矩阵  $\mathbf{d}_{\min}$  中对应 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  的元素小于资源复用距离矩阵  $\mathbf{d}$  中的对应元素时,则设置对称矩阵  $\mathbf{X}$  中的对应元素  $x_{i,j} = 1$ ,表明该 2 个单频网  $M_i$  和  $M_j$  之间的距离太近,不能使用相同资源. 其中,对称矩阵  $\mathbf{X}$  的对角线元素均为 0.

**步骤5** 按照设定步骤分配资源:首先,根据拓扑关系矩阵  $\mathbf{X}$  得到第 1 个资源分配辅助矩阵  $\mathbf{F}_0$ ,再对矩阵  $\mathbf{F}_0$  进行变换,即给第 1 个单频网  $S_1$  分配第 1 个资源块后,就对辅助矩阵  $\mathbf{F}_0$  替换相应元素,得到第 2 个资源分配辅助矩阵  $\mathbf{F}_1$ ;然后,给第 2 个单频网  $M_2$  分配资源块后,再对辅助矩阵  $\mathbf{F}_1$  替换相应元素,得到第 3 个资源分配辅助矩阵  $\mathbf{F}_2$ ;依次处理,就得到后续各个辅助矩阵  $\mathbf{F}_3, \mathbf{F}_4 \dots$ ,直至得到第  $m+1$  个辅助矩阵  $\mathbf{F}_m$ ,该辅助矩阵  $\mathbf{F}_m$  的  $m$  个对角线元素就是依次对每个单频网  $M_1 \sim M_m$  分配的资源块序号,即整个网络的资源分配方案实质是针对拓扑关系对称矩阵  $\mathbf{X}$  得出的.

## 3 仿真及分析

仿真基于图 1 所示的系统网络模型,用 Matlab 软件进行蒙特卡洛 (Monte Carlo) 仿真,仿真参数如表 1 所示.

图 3(a) 给出了 MBSFN 包含的小区个数变化时对应的系统传输速率. 从图中可以看出,在相同条件下,IS-ARAAM 的系统传输速率明显优于其他算法,尤其在 MBSFN 包含小区个数相对较多时,传输速率的提升更加明显. 而且,随着 MBSFN 包含小区个数的增加,传输速率呈上升趋势,这是由于每个 MBSFN 包含的小区数增加,即面积增大,此时 2 个

表 1 仿真参数

仿真参数	设定值
中心频率/GHz	2.0
小区半径/m	1 000
基站发送功率/dBm	43
噪声系数/dB	8
系统带宽/MHz	10
基站天线增益/dBi	14
用户端天线增益/dBi	0
接收天线数	2
用户数目/cell	10
路径损耗模型	COST-231 HATA 模型
衰落信道	平坦瑞利衰落
用户分布	独立均匀
小区半径/km	1

资源复用的 MBSFN 之间距离也相应增大,因而干扰相应减小。

从图 3(b)中可见,在相同条件下,IS-ARAAM 的系统覆盖率较其他算法也有明显提升,且在 MBSFN 区域面积较小时,其获得的覆盖率较不相邻算法提升更加明显。从图中还可以看出,IS-ARAAM 算法的覆盖率随着 MBSFN 包含的小区个数增加而增加,这同样是由于干扰减小引起的。

图 3(c)给出了几种算法的资源块消耗情况。从图中可见,IS-ARAAM 算法消耗的资源块略高,要比不相邻算法多消耗约 1 个左右资源块。虽然 IS-ARAAM 算法消耗的资源块略高,但系统传输速率和网络覆盖率增高明显,尤其在 MBSFN 面积较大时更加明显。其余 2 种传统算法没有考虑干扰抑制的问题,而只单纯考虑资源块的消耗,因此,这 2 种算法所得到的系统传输速率和网络覆盖率较 IS-ARAAM 算法要低很多。IS-ARAAM 算法很好地做到了在多消耗较少系统资源块的同时,显著提升了系统性能。

图 4(a)给出了系统传输速率与基站分配发射功率的关系。从图中可以看出,在相同条件下,IS-ARAAM 算法的传输速率明显优于其他算法。而且,随着基站发射功率的增加,IS-ARAAM 的传输速率随之增加,这是由于其考虑了发射功率对干扰的影响来分配资源,在发射功率增加时,接收信号的有用功率增加的速度会快于干扰功率的增加速度,因此功率越大,性能越好。而对于其他算法,虽然有效接收功率增加,但干扰功率也随之增加,因此系统中所有用户的最小信干噪比没有明显提升,相应地,传输速率没有随着发射功率的增加而增加。在发射功

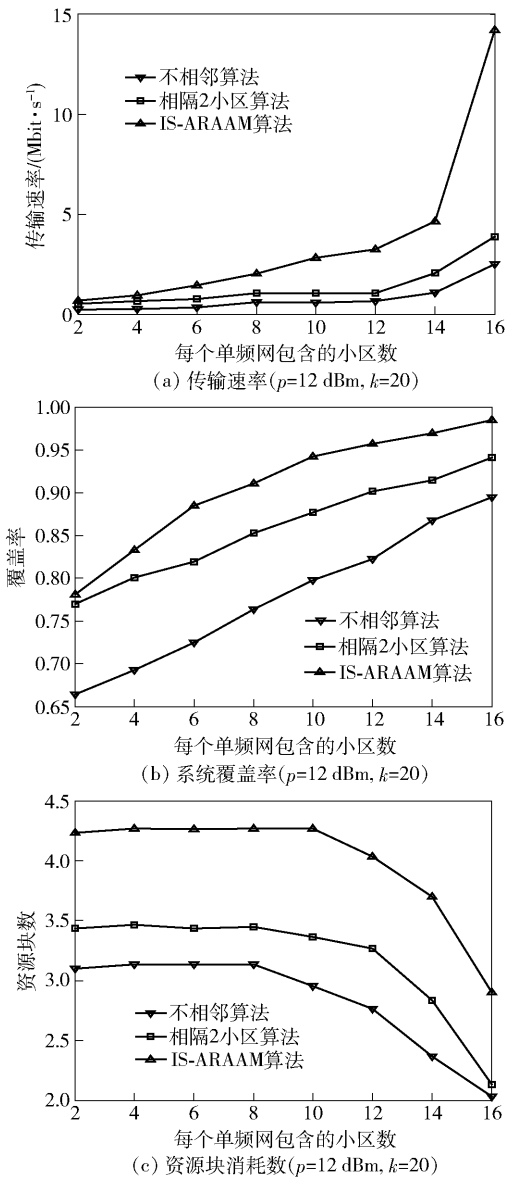


图 3 包含小区数变化时传输速率、系统覆盖率和资源块消耗数的变化情况

率很小时,由于计算的资源复用距离较小,影响了资源分配方案,所以 IS-ARAAM 的传输速率要略低于不相邻算法。

从图 4(b)中可见,IS-ARAAM 算法的系统覆盖率较其他算法也有明显提升,且随着分配的发射功率的增加,性能增益更加明显。而且,几种算法在发射功率增加到 10 dBm 时,系统覆盖率趋于稳定,这是由于发射功率增加到一定程度时,用户接收端有用功率和干扰功率增加相当,系统覆盖率的提升不再明显。从图中也可以看出,当分配给单频网传输的功率较小时,无法获得理想的性能,因而采用单频网的方式传输业务时,需要合理地分配发射功率。



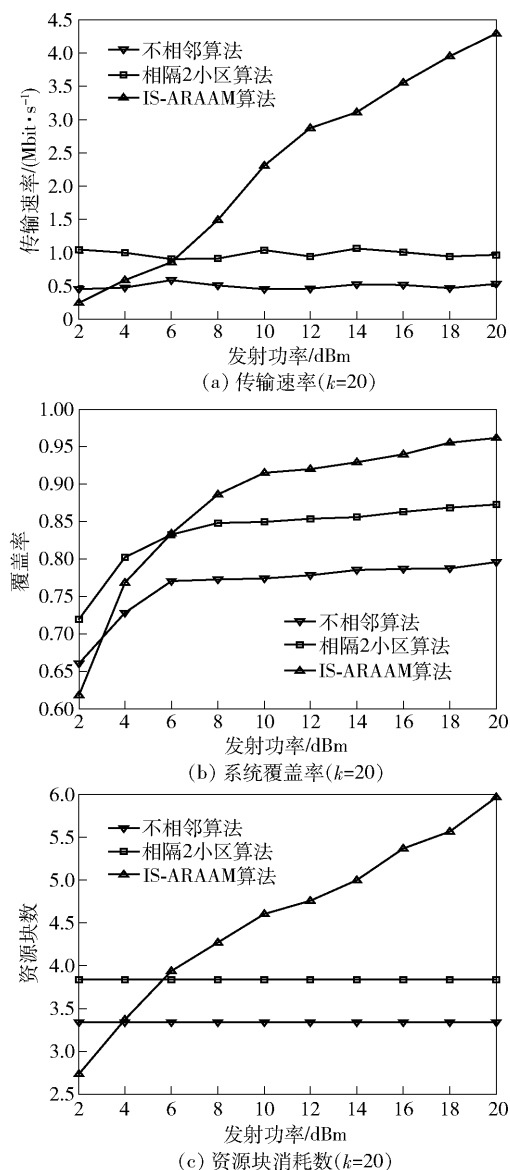


图4 发射功率变化时传输速率、系统覆盖率和资源块消耗数的变化情况

根据图4(c)可知,IS-ARAAM算法消耗的资源块较其他算法稍多,且随着发射功率的增加而增加,这是用资源复用距离公式计算的资源复用距离与发射功率成正比造成的。而发射功率小于4 dBm时,IS-ARAAM消耗的资源块数要比其他算法少,与图4(a)(b)中性能的下降相对应。由此可见,分配的功率越大,传输速率和覆盖率也增加,但是使用的资源块也增加,所以在实际中应考虑性能参数和资源块消耗量的折中与均衡,合理分配发射功率。

## 4 结束语

针对现有多小区 MBSFN 资源分配算法的不

足,提出了 IS-ARAAM 算法。首先利用基站的位置信息对区域内的所有 MBSFN 的地域形状、大小及其拓扑关系进行建模,以量化网络中每个单频网所包含的小区基站个数和任意 2 个单频网之间相对位置对同频干扰的影响;然后根据发射功率对资源复用距离的影响,给出计算 2 个 MBSFN 区域之间资源复用距离的公式。仿真结果表明,IS-ARAAM 算法根据 MBSFN 区域之间资源复用距离公式计算得到复用距离和动态分配资源块,能够减小各 MBSFN 之间的同频干扰,提高系统整体性能。

## 参考文献:

- [1] Richard O A, Aresh D, Kiseon K. Multicast scheduling and resource allocation algorithms for OFDMA-based systems: a survey[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013, 15(1): 240-254.
- [2] Jean-Marie V, Saviour Z. A survey of multicasting over wireless access networks[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013, 15(2): 718-753.
- [3] Zhou Y, Liu H, Pan Z. Energy-efficient two-stage cooperative multicast: effect of user density[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(9): 7297-7307.
- [4] Chen L. Efficient multicast resource allocation algorithm with limited feedback scheme in single frequency networks[J]. IET Communications, 2015, 9(17): 2140-2146.
- [5] Zhou Y, Liu H, Pan Z. Spectral-and energy-efficient two-stage cooperative multicast for LTE-advanced and beyond[J]. IEEE Wireless Communications, 2014, 21(2): 34-41.
- [6] Gou W. R2-092209, MBMS solution[S]. Seoul, South Korea; 3GPP TSG-RAN2 #65bis meeting, 2009: 1-10.
- [7] Liu J. R2-093099, Overlapping MBSFN areas[S]. San-Francisco, USA; 3GPP TSG-RAN WG2 #66, 2009: 1-8.
- [8] Vihang K, Suresh K, Vinod R. Efficient resource allocation strategies for multicast broadcast services in 3GPP long term evolution single frequency networks[C]//2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC). Budapest, Hungary: [s. n.], 2009: 1-6.
- [9] Aoxue J, Chunyan F, Tiankui Z. Research on resource allocation in multi-cell MBMS single frequency networks[C]//2010 IEEE Wireless and Optical Communications Networks(WOCN). Sydney, Australia: [s. n.], 2010: 1-5.
- [10] Rebhan R, Zander J. On the outage probability in single frequency networks for digital broadcasting[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2013, 39(4): 395-401.