

文章编号: 1000-5862(2013)06-0557-04

# 单天线双层毫微微网络的下行中断性能研究

杨鼎成<sup>1</sup>, 张文健<sup>2\*</sup>

(1. 南昌大学信息工程学院 江西 南昌 330031;

2. 江苏省邮电规划设计院有限责任公司 江苏 南京 210006)

**摘要:** 针对单天线双层毫微微小区系统下行中断性能进行研究, 分别给出了宏小区和毫微微小区的下行中断性能的数学表达式. 特别针对当层间或层内干扰信号的路径损耗指数  $\alpha = 4.0$  时, 由于来自毫微微小区的聚合层间或层内干扰服从 Lévy 平稳分布, 通过数学分析推导出了每层下行平均中断概率的闭式表达式. 利用数值仿真揭示了不同参数对中断性能的影响, 并证明了理论推导的正确性.

**关键词:** 双层网络; 中断概率; 毫微微小区; 层间干扰

**中图分类号:** TN 929.5

**文献标志码:** A

## 0 引言

毫微微小区基站(或称为家庭基站)是一种基于某种移动通信标准的无线接入点, 具有发射功率低、覆盖范围小(一般为 10 ~ 50 m)和即插即用等特点<sup>[1]</sup>, 通常由用户部署在家里或办公室以提升室内语音和数据速率. 在传统蜂窝系统中, 为了避免小区间的相互干扰, 相邻小区内的传输通常配置在正交的频谱资源上. 然而, 在双层毫微微小区网络中, 每层的传输可以配置在正交的专属频带上, 也可以共享相同的频谱资源. 通常考虑可用频谱资源的稀缺性和网络部署的简便性, 网络运营商倾向在已有的频带上直接运营毫微微小区, 而不提供额外的频谱资源. 在这种情况下, 由于宏基站和毫微微小区基站之间, 以及不同的毫微微小区基站之间的传输协调受限, 并发传输引起的层间层内干扰必然会降低每层用户的下行接收 SINR. 如果接收 SINR 低于预定阈值, 则用户无法成功解码, 即发生所谓的传输中断. 针对双层网络的传输中断概率, 文献[2]提出一种莱斯-瑞利衰落环境下简化的中断概率分析方法. Yao Yudong 等<sup>[3]</sup>扩展到 Nakagami 衰落环境, 推导了双层网络下行中断概率. 中断概率是衡量传输性能的重要指标, 吸引了众多学者对其进行研究.

本文将基于同信道干扰限制场景和路径损耗模型, 研究每层下行传输的中断性能, 为双层网络传输

性能的优化提供理论基础. 在许多经验路径损耗模型中, 室外传输环境下的路径损耗指数通常取值范围为 3.8 ~ 4.0. 当层间或层内干扰信号的路径损耗指数  $\alpha = 4.0$  时, 由于来自毫微微小区的聚合层间或层内干扰服从 Lévy 平稳分布, 本文通过数学分析推导出了每层下行平均中断概率的闭式表达式.

## 1 系统模型

假设位于蜂窝小区中心的宏基站  $B_0$  服务半径为  $R_c$  的圆形区域  $C$ , 区域面积为  $|C| = \pi R_c^2$ . 蜂窝用户在服务区域内均匀分布. 每个毫微微小区基站服务半径为  $R_f$  的圆形室内区域, 室内用户在服务区域内均匀分布. 对于封闭接入毫微微小区基站, 仅允许授权的室内用户接入. 宏基站和每个毫微微小区基站装置单根发射天线, 所有用户装置单根接收天线.

本文采用随机几何模型来建模毫微微小区的分布. 假设毫微微小区根据密度为  $\lambda_f$  的齐次空间泊松点过程(SPPP)分布, 表示为  $\Phi(\lambda_f) = \{X_j\}$ , 其中  $X_j$  表示毫微微小区基站  $F_j$  的空间位置. 该模型在之前的研究工作中已广泛使用<sup>[4-5]</sup>, 且有效性得到了实证研究的确认<sup>[6]</sup>. 因此, 在宏蜂窝小区的服务区域内, 毫微微小区的平均数量为  $N_f = \lambda_f |C|$ .

对于无需信道信息和非机会调度的系统, 传输信道的小尺度衰落不会对系统性能造成较大的影响<sup>[7]</sup>, 传输信号的功率衰减主要由路径损耗决定.

收稿日期: 2013-09-13

基金项目: 国家自然科学基金(61340025)和江西省教育厅科技计划(GJJ13062)资助项目.

通信作者: 张文健(1982-), 男, 河南新乡人, 工程师, 博士, 主要从事无线通信异构网络的研究.

进一步地,对于采用鲁棒性接收(例如 RAKE 接收)或具有足够分集(如多天线分集或分布式载波分配)的宽带系统,小尺度衰落的影响通常可以忽略.因此,为了分析简单,本文忽略阴影衰落和小尺度衰落的影响,仅考虑路径损耗对系统传输性能的影响.

假设宏蜂窝小区和每个毫微微小区内的下行传输使用相同的信道,而且在该共享信道上,宏基站和每个毫微微小区基站的发射功率分别为  $P_c$  和  $P_f$ . 为了分析简单,下行传输采用正交多址接入方式(如 TDMA 或基于子带的 OFDMA). 因此,在每个传输时隙内,蜂窝用户或室内用户仅接收到来自其他小区的下行干扰信号. 进一步地,来自其他蜂窝小区的同信道干扰和接收端热噪声的影响均忽略.

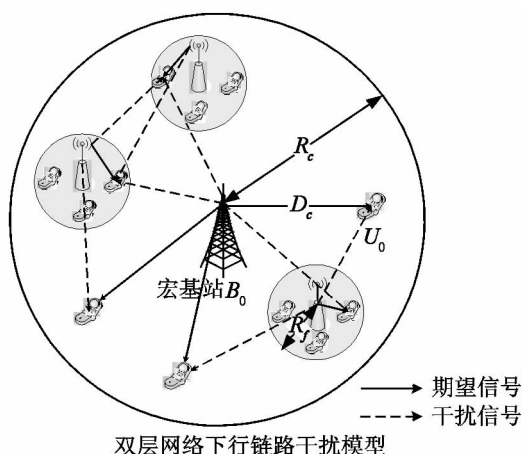


图1 双层毫微微网络系统模型

由于宏基站和毫微微小区基站之间,以及不同毫微微小区基站之间传输协调受限,在每个传输时隙内,宏蜂窝小区或毫微微小区内的下行传输受到了来自其他毫微微小区的聚合层间或层内干扰的影响. 根据 Slivnyak 定理<sup>[8]</sup>,在空间位置  $x$  处增加或删除一点不会影响泊松点过程的分布,因此在双层毫微微小区网络中,无论毫微微小区基站  $F_j$  是否满足  $X_j \in \Phi$ ,只要基站  $F_j$  不对其服务的室内用户接收到的层内干扰做出贡献,则层内干扰与蜂窝用户接收到的层间干扰具有相同的性质.

同时,在无线网络背景下,接收端接收到的累积干扰通常建模为空间散弹噪声过程<sup>[8]</sup>,冲击函数由信道模型决定. 鉴于此,本文将来自毫微微小区基站的聚合层间或层内干扰建模为泊松散弹噪声过程.

## 2 下行中断概率的闭式表达

在全局频率复用双层网络中,来自毫微微小区基站的聚合层间或层内干扰建模为泊松散弹噪声过

程. 在许多经验路径损耗模型中,室外传输环境下路径损耗指数通常取值范围为  $3.8 \sim 4.0$ . 特别地,当来自毫微微小区的干扰信号的路径损耗指数  $\alpha_{of} = 4.0$  时,聚合层间或层内干扰服从 Lévy 平稳分布,其 PDF 表示为<sup>[9]</sup>

$$f_{I_{of}}(x) = \frac{\pi \lambda_f \sqrt{P_f A_{rf}}}{2} x^{-3/2} \exp\left(-\frac{\pi^3 P_f A_{rf} \lambda_f^2}{4x}\right), \quad (1)$$

其中  $A_{rf}$  表示毫微微小区的信道衰落幅度,根据 IMT-2000 路径损耗模型<sup>[10]</sup>,对于室内用户  $A_{rf} = A_{if}$ ; 对于蜂窝用户  $A_{rf} = A_{of}$ . 在宏蜂窝小区中,对于均匀分布的用户,用户与宏基站之间的距离  $D$  的 CDF 为

$$F_D(d) = d^2/R_c^2, \quad 0 < d \leq R_c. \quad (2)$$

相应地,用户的平均接收功率  $P_r = P_c A_{re} D^{-\alpha_c}$  的 CDF 为( $A_{re}$  为蜂窝小区的信道衰落幅度)

$$F_{P_r}(s) = 1 - \frac{1}{R_c^2} \left( \frac{P_c A_{re}}{s} \right)^{2/\alpha_c}. \quad (3)$$

基于同信道干扰限制场景和路径损耗模型,本文将分别推导路径损耗指数  $\alpha_{of} = 4.0$  时每层下行传输的中断概率闭式表达式. 为了分析简单,假设所有毫微微小区基站均采用固定发射功率,且参考毫微微小区基站服务的室内用户位于毫微微小区边缘.

### 2.1 宏蜂窝小区的下行平均中断概率

假设蜂窝用户  $U_0$  与宏基站  $B_0$  之间的距离为  $D_c$ ,用户  $U_0$  的下行接收 SIR 为

$$SIR_c(D_c) = \frac{P_c A_c D_c^{-\alpha_c}}{\sum_{X_j \in \Phi} P_f A_{of} |X_j|^{-\alpha_{of}}} = \frac{S_c}{I_{of}}, \quad (4)$$

其中  $S_c = P_c A_c D_c^{-\alpha_c}$  为期望信号功率;  $I_{of} = \sum_{X_j \in \Phi} P_f A_{of} \cdot |X_j|^{-\alpha_{of}}$  为聚合层间干扰功率. 假设宏蜂窝小区下行传输的 SIR 阈值为  $\Gamma_c$ ,以变量  $I_{of}$  为条件,则条件中断概率为

$$p_c(\Gamma_c | x) = Pr(S_c \leq \Gamma_c x) = 1 - \frac{1}{R_c^2} \left( \frac{P_c A_{re}}{\Gamma_c x} \right)^{2/\alpha_c}. \quad (5)$$

在宏蜂窝小区中,当蜂窝用户位于小区边缘时,期望信号功率取最小值为  $S_{c,min} = P_c A_c R_c^{-\alpha_c}$ . 当  $x \geq S_{c,min}/\Gamma_c$  时,(5)式成立,否则  $p_c(\Gamma_c | x) = 0$ .

考虑(1)式表示的变量  $I_{of}$  的概率分布,通过对条件中断概率  $p_c(\Gamma_c | x)$  求期望值,能够获得蜂窝用户下行传输的平均中断概率为

$$p_c = E_{I_{of}}[p_c(\Gamma_c | x)] = \int_{S_{c,min}/\Gamma_c}^{\infty} p_c(\Gamma_c | x) f_{I_{of}}(x) dx =$$

$$\int_{S_c \min / \Gamma_c}^{\infty} \left( 1 - \frac{B}{\Gamma_c^{2/\alpha_c} x^{2/\alpha_c}} \right) A x^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{\pi A^2}{x} \right) dx =$$

$$\operatorname{erf} \left( \sqrt{\frac{\pi A^2 \Gamma_c}{S_c \min}} \right) - \frac{A^{-4/\alpha_c} B}{\pi^{2/\alpha_c+1/2} \Gamma_c^{2/\alpha_c}} \gamma \left( \frac{2}{\alpha_c} + \right.$$

$$\left. \frac{1}{2}, \frac{\pi A^2 \Gamma_c}{S_c \min} \right), \quad (6)$$

其中  $A = \pi \lambda_f \sqrt{P_f A_{i_f}} / 2$ ,  $B = (P_c A_{i_e})^{2/\alpha_c} / R_c^2$ ,  $\gamma(p, x) = \int_0^x t^{p-1} e^{-t} dt$  为不完全伽马函数;  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  为误差函数. 特别地, 当室外传输环境下的路径损耗指数  $\alpha_c = 4.0$  时, (6) 式可以重写为

$$p_c = \operatorname{erf} \left( \sqrt{\frac{\pi A^2 \Gamma_c}{S_c \min}} \right) - \frac{B}{\pi A \sqrt{\Gamma_c}} \cdot \left[ 1 - \exp \left( -\frac{\pi A^2 \Gamma_c}{S_c \min} \right) \right]. \quad (7)$$

## 2.2 毫微微小区的下行平均中断概率

假设参考毫微微小区基站  $F_0$  与宏基站  $B_0$  之间的距离为  $D_f$ , 考虑  $D_f \gg R_f$ , 室内用户  $U_0$  与宏基站  $B_0$  之间的传输距离近似为  $D_f$ ,  $D_f$  的 CDF 由 (2) 式给出, 室内用户  $U_0$  的下行接收 SIR 为

$$SIR_f(D_f) = \frac{P_f A_{i_f} R_f^{-\alpha_f}}{P_c A_{i_e} D_f^{-\alpha_c} + P_f A_{i_f} \sum_{X_j \in \Phi \setminus X_0} |X_j|^{-\alpha_o f}} =$$

$$S_f / (I_{i_e} + I_{i_f}), \quad (8)$$

其中  $S_f = P_f A_{i_f} R_f^{-\alpha_f}$  为期望信号功率;  $I_{i_e} = P_c A_{i_e} D_f^{-\alpha_c}$  为来自宏基站的层间干扰功率;  $I_{i_f} = P_f A_{i_f} \sum_{X_j \in \Phi \setminus X_0} |X_j|^{-\alpha_o f}$  为聚合层内干扰功率, 其 PDF 由 (1) 式给出.

假设毫微微小区下行传输的 SIR 阈值为  $\Gamma_f$ , 以变量  $I_{i_f}$  为条件, 则室内用户下行传输的条件中断概率为

$$p_f(\Gamma_f | x) = \Pr \left( \frac{S_f}{I_{i_e} + I_{i_f}} \leq \Gamma_f | x \right) =$$

$$\Pr \left( I_{i_e} \geq S_f / \Gamma_f - x \right). \quad (9)$$

当室内用户  $U_0$  位于宏蜂窝小区边缘时, 来自宏基站的层间干扰  $I_{i_e}$  取最小值为  $I_{c \min} = P_c A_{i_e} R_c^{-\alpha_c}$ . 为获得下行平均中断概率, 分别考虑如下几种情况:

- (i) 当  $\Gamma_f \geq S_f / I_{c \min}$  时,  $p_f(\Gamma_f | x) = 1$ ;
- (ii) 当  $\Gamma_f < S_f / I_{c \min}$  且  $x \geq S_f / \Gamma_f - I_{c \min}$  时,  $p_f(\Gamma_f | x) = 1$ ;
- (iii) 当  $\Gamma_f < S_f / I_{c \min}$  且  $x < S_f / \Gamma_f - I_{c \min}$  时,

$$p_f(\Gamma_f | x) = \frac{1}{R_c^2} \left( \frac{P_c A_{i_e}}{S_f / \Gamma_f - x} \right)^{2/\alpha_c}. \quad (10)$$

考虑 (1) 式表示的变量  $I_{i_f}$  的 PDF, 当  $\Gamma_f \geq S_f / I_{c \min}$  时, 室内用户下行传输的平均中断概率为

$$p_f = E_{I_{i_f}} [p_f(\Gamma_f | x)] = \int_0^{\infty} f_{I_{i_f}}(x) dx = 1, \quad (11)$$

当  $\Gamma_f < S_f / I_{c \min}$  时, 室内用户下行传输的平均中断概率为

$$p_f = E_{I_{i_f}} [p_f(\Gamma_f | x)] =$$

$$\int_0^{S_f / \Gamma_f - I_{c \min}} p_f(\Gamma_f | x) f_{I_{i_f}}(x) dx + \int_{S_f / \Gamma_f - I_{c \min}}^{\infty} f_{I_{i_f}}(x) dx =$$

$$\int_0^{S_f / \Gamma_f - I_{c \min}} \frac{AB}{(S_f / \Gamma_f - x)^{2/\alpha_c}} x^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{\pi A^2}{x} \right) dx +$$

$$\int_{S_f / \Gamma_f - I_{c \min}}^{\infty} A x^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{\pi A^2}{x} \right) dx = ABG(\Gamma_f) +$$

$$\operatorname{erf} \left( \sqrt{\frac{\pi A^2 \Gamma_f}{S_f - \Gamma_f I_{c \min}}} \right), \quad (12)$$

其中  $A = \pi \lambda_f \sqrt{P_f A_{i_f}} / 2$ ,  $B = (P_c A_{i_e})^{2/\alpha_c} / R_c^2$ . 当  $I_{c \min} \neq 0$  时,  $G(\Gamma_f) = \int_0^{S_f / \Gamma_f - I_{c \min}} (S_f / \Gamma_f - x)^{-\frac{2}{\alpha_c}} x^{-\frac{3}{2}} \cdot$

$\exp(-\pi A^2 / x) dx$  没有闭式表达式. 特别地, 如果室内用户  $U_0$  位于宏蜂窝小区边缘, 且层间干扰信号经历墙体引起的穿透损耗, 可以认为  $I_{c \min} \approx 0$ , 此时

$G(\Gamma_f)$  近似为  $G(\Gamma_f) \approx \int_0^{S_f / \Gamma_f} (S_f / \Gamma_f - x)^{-2/\alpha_c} x^{-\frac{3}{2}} \cdot$

$\exp(-\pi A^2 / x) dx = (\pi A^2)^{-\frac{3}{2}} (S_f / \Gamma_f)^{1/4-2/\alpha_c} \Gamma \cdot$

$(1 - 2/\alpha_c) \exp(-\pi A^2 \Gamma_f / 2 S_f) \cdot W_{2/\alpha_c-1/4, -1/4}(\pi A^2 \Gamma_f / S_f), \quad (13)$

其中  $W_{k,m}(z)$  为 Whittaker 函数<sup>[11]</sup>. 当满足  $\operatorname{Re}(m-k) > -\frac{1}{2}$  且  $|\arg z| < \pi$  时,

$$W_{k,m}(z) = \frac{z^k e^{-z/2}}{\Gamma(m-k+1/2)} \int_0^{\infty} e^{-t} t^{m-k-1/2} \cdot$$

$$\left( 1 + \frac{t}{z} \right)^{m+k-1/2} dt. \quad (14)$$

进一步地, 当室外传输环境下路径损耗指数  $\alpha_c = 4.0$  时, (13) 式可以重写为

$$G(\Gamma_f) \approx \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\Gamma_f}{S_f}} \exp \left( -\frac{\pi A^2 \Gamma_f}{S_f} \right). \quad (15)$$

## 3 仿真验证与分析

本节通过仿真来验证上述理论推导. 仿真假设如下: 宏基站的发射功率和服务区域半径分别为  $P_c = 43$  dBm 和  $R_c = 1\,000$  m, 毫微微小区的服务区域半径为  $R_f = 20$  m. 室内环境下路径损耗指数  $\alpha_f = 3.0$ , 室外及室内到室外环境下路径损耗指数  $\alpha_c =$

$\alpha_{of} = 4.0$ , 穿透损耗为  $W = 10$  dB. 其他仿真参数不固定. 图 2 仿真了每层下行平均中断概率随毫微微小区平均数量变化的曲线. 可以看出毫微微小区平均数量的增加引起了下行中断概率增加. 但在室内用户接收的聚合干扰中, 占支配地位的层间干扰功率不变, 因此毫微微小区下行中断概率增长缓慢. 另一方面, 增加毫微微小区基站发射功率将增加(或减小)宏蜂窝小区(或毫微微小区)下行中断概率. 例如, 当毫微微小区平均数量为 100 时, 毫微微小区基站发射功率提高 10 dBm 使宏蜂窝小区下行中断概率增加约 17%, 而毫微微小区下行中断概率减小约 2.5%. 数值模拟仿真结果与理论推导结果具有较好的一致性, 验证了本文推导的正确性.

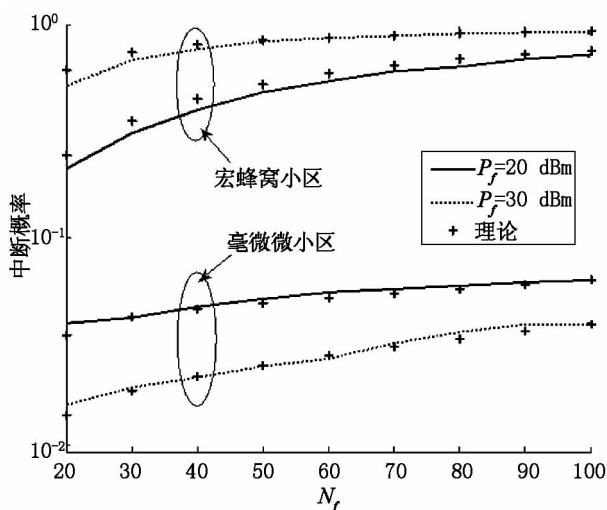


图 2 平均中断概率随毫微微小区平均数量变化的曲线

图 3 给出了路径损耗指数  $\alpha_{of} = 4.0$  时用户下行接收 SIR 的 CDF 曲线. 从图 3 可以看出, 由于室内用户与毫微微小区基站间的传输距离较小, 期望信号功率较强, 因此其下行传输性能优于蜂窝用户.

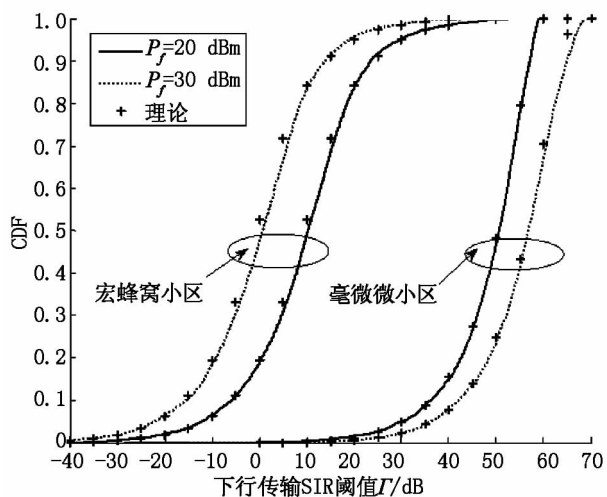


图 3 用户下行接收 SIR 的 CDF 曲线

以  $P_f = 20$  dBm 和 50% 用户为例, 室内用户的下行接收 SIR 高于蜂窝用户下行接收 SIR 约 40 dB. 随着毫微微小区基站发射功率的增加, 蜂窝用户接收的聚合干扰功率随之增加, 而期望信号功率保持不变, 故下行接收性能进一步退化. 而对于室内用户, 接收到的期望信号功率和聚合干扰功率同时递增, 但在聚合干扰中占支配地位的层间干扰功率不变, 期望信号功率增速快于干扰功率增速, 室内用户接收性能进一步提升.

## 4 结论

本文研究了单天线双层网络的下行传输中断性能. 首先, 基于同信道干扰限制场景和路径损耗模型, 分析了每层平均中断概率的数学表达. 特别针对层间或层内干扰信号路径损耗指数等于 4.0 的特殊情况, 采用数学计算推导了每层平均中断概率的闭式表达式. 最后, 利用数值仿真揭示不同参数对双层网络的下行中断概率性能的影响, 并证明理论推导与实践仿真的一致性.

## 5 参考文献

- [1] Chandrasekhar V, Andrews J G, Gatherer A. Femtocell networks: a survey [J]. Communications Magazine, 2008, 46(9): 59-67.
- [2] Merani M L. A comparison between outage probability evaluations in Microcellular systems [EB/OL]. [2012-03-16]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=245372>.
- [3] Yao Yudong, Sheikh A U H. Investigations into cochannel interference in microcellular mobile radio systems [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1992, 41(2): 114-123.
- [4] Chandrasekhar V, Kountouris M, Andrews J G. Coverage in multi-antenna two-tier networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(10): 5314-5327.
- [5] Park S, Seo W, Kim Y, et al. Beam subset selection strategy for interference reduction in two-tier femtocell networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(11): 3440-3449.
- [6] Baccelli F, Klein M, Lebourges M, et al. Stochastic geometry and architecture of communication networks [J]. Journal of Telecommunication System, 1995, 7(1/21): 209-227.

(下转第 598 页)

## A Soluble Poly( Aryl Ether Ether Ketone) Based on a New Bisphenol Containing Fluorine and Pyridine Groups

DENG Hui-fang, LIU Xiao-ling\*, CHENG Li-ji, JIANG Jian-wen, SHENG Shou-ri\*

( College of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** A new bisphenol monomer 4-(4-trifluoromethylphenyl)-2,6-bis(4-hydrophenyl) pyridine was synthesized by a modified Chichibabin reaction using 4-trifluoromethylbenzaldehyde and 4'-hydroacetophenone as main original materials, which was then employed to prepare a new poly(aryl ether ether ketone) (PEKK) containing fluorine and 2,6-diphenylpyridine groups via aromatic nucleophilic substitution polycondensation with 4,4'-difluorobenzophenone and their structure and properties were studied using analysis techniques such as FTIR, DSC and WAXD. The results indicated the resulting PEKK with inherent viscosities of  $0.65 \text{ dL} \cdot \text{g}^{-1}$  had excellent heat resistance with glass transition temperature of  $178^\circ\text{C}$ , 5% weight loss decomposition temperature of  $556^\circ\text{C}$  in air. In the meantime, the new fluorinated PEKK showed a 99.5 MPa tensile strength, 3.01 GPa Young's modulus and 14% elongations at break. Besides, this new PEEK with lower dielectric constant of 2.62 (100 MHz) and low water absorption 0.46% was amorphous and was soluble in dipolar aprotic solvents such as *N*-methyl-2-pyrrolidone and *N*, *N*-dimethylacetamide and some common organic solvents like chloroform and THF at room temperature.

**Key words:** 4-(4-trifluoromethylphenyl)-2,6-bis(4-hydrophenyl) pyridine; fluorinated poly(aryl ether ether ketone) containing pyridine structure; synthesis; characterization

(责任编辑: 刘显亮)

(上接第 560 页)

- [7] Baccelli F, Blaszczyzyn B, Muhlethaler P. An aloha protocol for multihop mobile wireless networks [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52 (2): 421-436.
- [8] Jacobsen M. Point process theory and applications [M]. Boston: Birkhauser, 2006.
- [9] Sousa E S, Silvester J A. Optimum transmission ranges in a direct-sequence spread-spectrum multihop packet radio network [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1990, 8(5): 762-771.
- [10] Recommendation ITU-R M. 1225, Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, 1997.
- [11] Gradshteyn I, Ryzhik I M, Jeffrey A. Tables of integrals, series, and products [M]. 7<sup>th</sup> ed. New York: Academic, 2007.

## Downlink Outage Analysis in Single Antenna Two-Tier Networks

YANG Ding-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Wen-jian<sup>2\*</sup>

(1. Information Engineering School, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330031, China;

2. Jiangsu Posts & Telecommunications Planning and Designing Institute Company Ltd, Nanjing Jiangsu 210006, China)

**Abstract:** The downlink outage performance in single two-tier networks is studied. The mathematic expressions of outage probability in Macro cell and femto cell is derived. Especially, when inner-layer or inter-layer interfering signal path loss exponent  $\alpha = 4.0$ , the interference aggregation from inner-layer or inter-layer obey Lévy stable distribution. The closed expressions of downlink average outage probability in each layer by mathematic analyzes is derived. Using numerical simulations, it reveals the performance of different parameters on the impact of outage probability, and proved the theoretical analysis.

**Key words:** two-tier network; outage probability; femtocell; inter-layer interference

(责任编辑: 冉小晓)