

分层结构分布式天线系统的性能分析^①

蒋占军^{②*} 郑玉甫^{*} 王东明^{**} 王 炎^{**}

(* 兰州交通大学电子与信息工程学院 兰州 730070)

(** 东南大学移动通信国家重点实验 南京 210096)

摘 要 提出了一种分层结构的分布式天线系统(HDAS)。在此 HDAS 中,其中一个远端接入单元(RAU)以大功率发射保证对整个广义小区(GN-cell)的覆盖,而 GN-cell 中用户密度较大或者链路质量较差的区域配置较小功率的 RAU 对其进行重复覆盖。在 CDMA 网络环境中分析了 HDAS 上下行链路的信干比,其中上行链路采用基于信干比平衡准则的功率控制算法,下行链路采用 RAU 选择传输方案。链路性能分析表明,上行链路的信干比与 GN-cell 中 RAU 数目成正比,且与用户分布和小功率 RAU 的位置无关;下行链路信干比在 RAU 选择和 RAKE 接收结合时与用户分布及 RAU 位置基本无关。这些结论表明,CDMA HDAS 可以较好地解决蜂窝移动通信系统中由于用户非均匀分布造成的扩容以及随之产生的频繁切换问题。

关键词 分层网络结构,分布式天线系统(DAS),远端接入单元选择,功率控制

0 引 言

对于未来宽带移动通信系统而言,其大范围覆盖的要求、移动通信用户数量的飞速增长以及发展高速数据及图像业务的需要,会使得无线资源短缺与通信业务量的飞速增长之间的矛盾愈显突出。分布式天线系统(distributed antenna system, DAS)和分层覆盖的蜂窝移动系统(hierarchical cellular mobile system, HCMS)作为解决方案得到了广泛研究。

文献[1]最早将 DAS 应用于蜂窝移动通信系统的大范围覆盖研究,结果表明采用分布式天线不仅能提高接收信噪比,降低发送功率,而且还减少了小区之间切换的次数。文献[2]将传统 DAS 与蜂窝理论结合,提出了一种基于广义小区(generalized cell, GN-cell)的分布式天线系统,来适应未来移动通信系统以较小的发送功率发送信号以及大范围覆盖的网络构架需求。该系统具有功率利用率高、无线网络结构灵活、系统容量大等特点。

文献[3]对 HCMS 网络结构设计、移动性管理等方面做了全面的综述。和传统的单层蜂窝移动通信系统相比较,当服务区域面积相同时,HCMS 可以提供更高的系统容量。文献[4,5]证明了码分多址接

入宏小区/微小区(CDMA macro-cell/micro-cell)双层 HCMS 中,相同服务区内不同层中的小区可以使用相同的频率,并且其系统容量与单层 CDMA 蜂窝系统有很大幅度的提高。文献[6]中提出一种 macro-cell/micro-cell 中的层间最大比合并(maximum ratio combination, MRC)的反向功率控制算法,从而使得系统上行链路质量得到了进一步的提高,并且反向链路信干比(signal to interference ratio, SIR)与用户以及 micro-cell 的位置无关。文献[7]提出 CDMA macro-cell/micro-cell 中移动台(mobile station, MS)的软切换模型,并对切换性能作了详细的研究。文献[8]中提出了 CDMA macro-cell/DAS 结构,有效解决了 CDMA macro-cell/micro-cell 中存在的 micro-cell 的 BS 偏移以及发射功率较大的问题。

本文将 HCMS 的原理引入到 CDMA 分布式天线系统中,提出了一种分层覆盖的 DAS(hierarchical DAS, HDAS)网络结构,对 HDAS 网络结构作了详细描述,对 HDAS 上行链路和下行链路的信干比作了详细分析,而且通过仿真验证了分析结果。

1 HDAS 网络结构

在蜂窝网络设计与干扰分析时,通常假设用户

^① 863 计划(2006AA01Z268, 2007AA01Z268)和国家自然科学基金(60702028)资助项目。

^② 男,1975 年生,博士,副教授;研究方向:分布式移动通信系统关键技术;联系人, E-mail: jzhang@sina.com
(收稿日期:2008-07-11)

是均匀分布的,然而热点地区和无线信号盲点区域的覆盖仍是网络工程师们需要面对的问题。HCMS 无疑是解决蜂窝网络中用户非均匀分布的一种良好策略,但 HCMS 中各层的蜂窝小区有自己独立的基站(base station, BS),复杂的层间管理限制了其应用。在文献[2]所提出的分布式天线系统中,多个远端接入单元(remote access unit, RAU)通过射频光纤或电缆连接到相同的 BS,共同实现大范围的无线覆盖,其覆盖范围定义为一个 GN-cell,而且所有 RAU 的信号处理都在 BS 处完成。此外,当移动台(MS)在 GN-cell 内部移动时,RAU 选择代替了传统的切换操作,解决了传统蜂窝小区缩小导致频繁切换的现象,且 GN-cell 间的切换数目也较单天线移动通信系统有明显减少^[9]。

将 DAS 与 HCMS 结合,实现了一种新型的分布式天线系统——HDAS,一方面通过 HCMS 的思想来解决热点地区和盲点区域的覆盖问题,另一方面采用 DAS 中 RAU 选择以及信号由 BS 统一联合处理的方法,避免了 HCMS 中层间切换和层间干扰的问题,从而使 HCMS 和 DAS 在 HDAS 中扬长避短,实现了较好的融合。

图 1 给出了 HDAS 的单个 GN-cell 的结构,图 1(a)是一个由两个 RAU 组成的简单结构,其中 RAU₀ 覆盖整个 GN-cell,RAU₁ 重复覆盖 GN-cell 中的盲点或用户密集区域 HUA(higher user-density area),GN-cell 中除去 HUA 的部分称为用户稀疏区域,记作 LUA(lower user-density area)。HUA 和 LUA 中分别有 M_H 和 M_L 个用户,GN-cell 中用户总数为 $M = M_H + M_L$,HUA 的用户密度远大于 LUA 的用户密度。

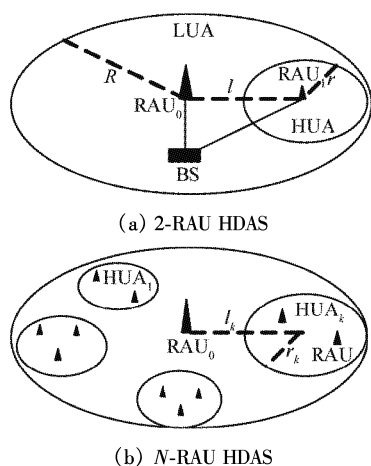


图 1 HDAS 网络结构

图 1(b)是通用的单个 GN-cell 的 HDAS 结构示意图,GN-cell 中有 k 个 HUA,记作 HDA_k ($k = 1, \dots, K$)。HDA_k 半径为 r_k ,区域中心距离 RAU₀ 为 l_k ,其中配置有 N_k 个 RAU,有 $M_{H,k}$ 个用户,各个 HUA 的用户密度均远大于 LUA 的用户密度。GN-cell 中用户总数为 $M = \sum_{k=1}^K M_{H,k} + M_L$,RAU 的总数为 $N = \sum_{k=1}^K N_k + 1$,且所有 RAU 均连接至相同的 BS。

需要说明的是,在 HDAS 中,MS 和 RAU 之间并无固定的对应关系,例如 LUA 中的用户是指用户的物理位置在 LUA 中,但并不表示仅 RAU₀ 为其服务。事实上,在 HDAS 中每个 MS 上行信号是由 BS 联合处理,而下行信号通过 RAU 选择后由激活集(active set, AS)中的 RAU 发送;对 HUA 中的用户理解与此类似。

2 上行链路分析

2.1 2-RAU HDAS 结构分析

系统结构如图 1(a)所示,因为 CDMA 是干扰受限系统,为方便分析,信道的高斯白噪声暂不考虑。HDAS 中上行链路采用基于信干比(SIR)平衡准则的功率控制算法,即通过控制各移动台(MS)的发射功率,使得在基站(BS)处各用户具有相同的 SIR,文献[10]对该算法的收敛性及迭代求解方法做了详细的描述。BS 分别对收到的各用户的信号作最大比合并(MRC),故对 MS_m,其信干比为

$$\begin{aligned} \Gamma_{rev,m} &= \sum_{i=0}^1 \frac{S_{i,m}}{I_{i,m}} \\ &= \sum_{i=0}^1 \frac{\tilde{s}_{i,m} G_{i,m}}{\sum_{j=1}^{M_H} \tilde{s}_{i,j} G_{i,j} + \sum_{k=1}^{M_L} \tilde{s}_{i,k} G_{i,k} - \tilde{s}_{i,m} G_{i,m}} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $S_{i,m}$ 为 RAU_i 收到的 MS_m 的信号功率, $G_{i,m}$ 为 RAU_i 和 MS_m 之间的信道增益, $\tilde{s}_{i,m}$ 为 MS_m 的发射功率, $I_{i,m}$ 为 RAU 上对 MS_m 的干扰功率。

当 GN-cell 中 MS 较多时,可以近似认为 $I_{i,m} \approx I_{i,k} \approx I_i, k, m = 1, \dots, M$,即不同 MS 在同一个 RAU 上经历的干扰功率近似相等,本文将此近似记作 App.1。但是由于 HUA 和 LUA 用户密度不同,所以 $I_i \neq I_j, (i \neq j; i, j = 0, 1)$ 。将(1)式重写为

$$\Gamma_{rev,m} = \frac{S_{0,m}}{I_0} + \frac{S_{1,m}}{I_1} \stackrel{I_0 = \lambda I_1}{=} \frac{S_{0,m} + \lambda S_{1,m}}{I_0} = \frac{S_\alpha}{I_0} \quad (2)$$

其中 $S_\alpha = S_{0,m} + \lambda S_{1,m}$ 。由上面对于干扰功率的假

设(即 App.I), 可知(2)式中的 I_0 对不同的移动台近似相同, 此外功率控制使得 $\Gamma_{rev,m} = \Gamma_{rev,k} = \Gamma_{rev}$, ($m \neq k$), 故 S_α 也将对 MS 保持不变, 进而有

$$\begin{aligned} I_0 &= \sum_{k=1}^{M_L} S_{0,k} + \sum_{n=1}^{M_H} S_{0,n} - S_{0,m} \\ &= \sum_{k=1}^{M_L} (S_\alpha - \lambda S_{1,k}) + \sum_{n=1}^{M_H} (S_\alpha - \lambda S_{1,n}) \\ &\quad - (S_\alpha - \lambda S_{1,m}) \\ &\approx (M-1)S_\alpha - \lambda \left(\sum_{k=1}^{M_L} S_{1,k} + \sum_{n=1}^{M_H} S_{1,n} - S_{1,m} \right) \\ &= (M-1)S_\alpha - \lambda I_\alpha \end{aligned} \quad (3)$$

所以由(2)和(3)式可得 $\Gamma_{rev} = S_\alpha / I_0 = S_\alpha / (\lambda I_1) = 2 / (M-1)$ 。

在文献[6]中, 作者将此基于信干比的功率控制算法用于 macro-cell/micro-cell 重复覆盖网络中反向链路, 但是需要在 macro-cell 的基站和 micro-cell 的基站之间完成信号合并, 即需要将各基站收到的用户信号集中在移动交换中心(mobile switching centre, MSC)处理, 这势必要增加网络开销及实现复杂性。而 HDAS 系统秉承了 DAS 的特点, 各 RAU 的信号统一由基站处理, 故不存在这方面的问题。上述结论可以推广到更一般的 HDAS 结构中。

2.2 N-RAU HDAS 结构分析

首先假设 GN-cell 中仅有一个 HUA, 即图 1(b) 中 $k=1$ 。假设用户较多, App.I 近似成立, 即 $I_{i,m} \approx I_{i,n} \approx I_i$ 。此外因为 HUA 范围较小, 其中的 N_1 个 RAU 距离比较近, 因此近似认为 $I_i \approx I_j \approx I_\alpha, i, j \in \{n/\text{RAU}_n \in \text{HUA}, 0 < n \leq N_1\}$, 即用户信号在 HUA 中各 RAU 上遭受了相同的干扰, 本文将此近似记作 App.II。基于上述假设, MS_m 的信干比为

$$\begin{aligned} \Gamma_{rev,m} &= \frac{S_{0,m}}{I_0} + \sum_{i=1}^{N_1} \frac{S_{i,m}}{I_i} \\ &= \frac{I_i \approx I_\alpha}{I_0} \frac{S_{0,m}}{I_0} + \sum_{i=1}^{N_1} \frac{S_{i,m}}{I_\alpha} \\ &= \frac{I_0 = \lambda I_\alpha S_{0,k} + \lambda \sum_{i=1}^{N_1} S_{i,m}}{I_0} = \frac{S_\alpha}{I_0} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $S_\alpha = S_{0,k} + \lambda \sum_{i=1}^{N_1} S_{i,m}$ 。将 I_0 重写为

$$\begin{aligned} I_0 &= \sum_{i=1}^{M_L} S_{0,i} + \sum_{n=1}^{M_H} S_{0,n} - S_{0,m} \\ &= \sum_{i=1}^{M_L} (S_\alpha - \lambda \sum_{l=1}^{N_1} S_{l,i}) \\ &\quad + \sum_{n=1}^{M_H} (S_\alpha - \lambda \sum_{l=1}^{N_1} S_{l,n}) \\ &\quad - (S_\alpha - \lambda \sum_{l=1}^{N_1} S_{l,m}) \\ &= (M-1)S_\alpha - \lambda \sum_{l=1}^{N_1} I_{l,k} \\ &\approx (M-1)S_\alpha - \lambda N_H I_\alpha \end{aligned} \quad (5)$$

所以信干比为 $\Gamma_{rev} = (N_H + 1) / (M - 1) = N / (M - 1)$ 。

进一步, 对于一般的 N-RAU HDAS 结构, 如图 1(b) 所示, 运用 APP.I 和 APP.II 可得

$$\begin{aligned} \Gamma_{rev,m} &= \frac{S_{0,m}}{I_0} + \sum_{k=1}^K \frac{1}{I_{\alpha,k}} \sum_{j=1}^{N_K} S_{j,m}^{(k)} \\ &= \frac{I_0 = \lambda I_\alpha S_{0,m} + \sum_{k=1}^K \lambda_k S_{\alpha,k}}{I_0} = \frac{S_\alpha}{I_0} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $S_{\alpha,k} = \sum_{j=1}^{N_k} S_{j,m}^{(k)}$, 重写 I_0 并化简为

$$\begin{aligned} I_0 &= \sum_{i=1}^{M_L} S_{0,i} + \sum_{l=1}^K \sum_{n=1}^{M_{H,l}} S_{0,n}^{(l)} - S_{0,m} \\ &= (M-1)S_\alpha - \sum_{k=1}^K N_k I_0 \end{aligned} \quad (7)$$

从而可得

$$\Gamma_{rev} = \frac{\sum_{k=1}^K N_k + 1}{M - 1} = \frac{N}{M - 1} \quad (8)$$

由以上分析可见, HDAS 上行链路通过基于信干比平衡准则的反向功率控制实现各用户信号在基站处的联合处理, 使其上行链路信干比正比于 GN-cell 中 RAU 的总数目, 反比于用户总数目, 而与 HUA 中的 RAU 位置无关。文献[3-5]指出, 在 macro-cell/micro-cell 结构中, micro-cell 的位置、层间干扰以及网络负荷的不均匀都会影响到反向链路质量, 而由(8)式可见 HDAS 摒弃了 HCMS 网络中存在的这些缺点。此外, 若考虑 CDMA 系统的处理增益 N_{pg} , 则链路的信干比为

$$\Gamma_{rev} = \frac{N_{pg} N}{M - 1} \quad (9)$$

3 下行链路分析

如图 1(b) 所示的网络结构, 为描述及书写简洁, 我们假设每个 HUA 中仅有一个 RAU, 即 $N_k = 1, k = 1, \dots, K$, RAU 总数为 $N = k + 1$ 。在 HDAS 的下行链路中, 基站的总功率保持不变, 为了保证 RAU_i 对 HUA_i 的有效覆盖, 其发射功率 $S_{t,i}$ 应该满足以下条件^[8]:

$$S_{t,i} = S_{t,0} \beta_i^{-\gamma/2} \quad (i = 1, \dots, K) \quad (10)$$

其中 $S_{t,i}$ 为 RAU_i 的发射功率, $i = 0, 1, \dots, K$, γ 是传播衰减指数

$$\beta_i = \begin{cases} (l_i/r_i)^2, & i = 1, \dots, K \\ 1, & i = 0 \end{cases} \quad (11)$$

即每增加一个 RAU 都需要额外的功率开销, 若基站

发射功率总功率为 S_{BS} 则 $\sum_{i=0}^K S_{t,i} \beta_i^{-\gamma/2} = S_{BS}$, 联合(10)式即可解得各 RAU 的发射功率。

和上行链路不同的是下行信号传输时采用天线选择技术, 定义当前时刻为 MS_m 服务的 RAU 组成该 MS 的激活集(AS), 记作 AS_m , 其大小记作 $N_{AS,m}$ 。激活集可以通过移动台辅助构建, MS_m 根据收到来自 RAU_i ($i = 0, 1, \dots, K$) 的导频功率的大小, 选择其中信道最好的 N_{AS} 个 RAU, 并将其序号反馈回基站, 由基站为其维持一个激活集。记 AS_m 中各 RAU 的序号为集合 $I_{AS,m} = \{n/RAU_n \in AS_m\}$, 则 $N_{AS,m} = l(I_{AS,m})$ 为 I_{AS} 的势。本文中假设所有移动台的激活集大小相同, 即 $N_{AS,m} = N_{AS}$, ($m = 1, \dots, M$)。在无前向功率控制时, 每个 RAU 将发射功率平均地分配给其服务所有用户。假设信号相位随机变化, 不计白噪声和导频的干扰可得

$$\Gamma_{for,m} = \frac{N_{pg} \sum_{i \in I_{AS,m}} G_{i,m} S_{t,i} / M_i}{\sum_{i \in I_{AS,m}} G_{i,m} S_{t,i} (M_i - 1) / M_i + \sum_{j \notin I_{AS,m}} G_{j,m} S_{t,j}} \quad (12)$$

其中, M_i 是当前时刻 RAU_i 所服务的用户数目, (12)式中分母的第一项为来自 AS_m 内部的干扰, 第二项表示来自 AS_m 外部的干扰。因为缺少功率控制, 当增大用户激活集时, 干扰量会随之增大, 导致链路质量下降, $N_{AS} = N$ 时, $M_i = M$, 此时链路的平均信干比下降至集中式单天线系统 (centralized single antenna system, CSAS) 的水平。

在 CDMA 系统中, 移动台采用 RAKE 接收技术来分辨来自激活集中的 N_{AS} 个 RAU 的信号并进行合并, 取得合并增益, 可以进一步提到 $N_{AS} > 1$ 时的链路质量, 此时信干比为

$$\Gamma_{for,m} = \sum_{i \in I_{AS,m}} \frac{N_{pg} G_{i,m} S_{t,i} / M_i}{G_{i,m} S_{t,i} (M_i - 1) / M_i + \sum_{j \notin I_{AS,m}} G_{j,m} S_{t,j}} \quad (13)$$

当 $N_{AS} = N$ 时, CSAS 的状况也可以得到相应的改善, 为

$$\begin{aligned} \Gamma_{for,m} &= \sum_{i=0}^K \frac{N_{pg} G_{i,m} S_{t,i} / M}{G_{i,m} S_{t,i} (M - 1) / M} \\ &= \begin{cases} N_{pg} N / (M - 1), & N \leq L \\ N_{pg} L / (M - 1), & N > L \end{cases} \quad (14) \end{aligned}$$

其中 L 为 RAKE 接收机的分支数, 考虑到移动台的复杂性要求, L 不能很大, 例如在 IS-95 中, $L \in [3, 6]$ 。当 $N_{AS} = 1$ 时, 记 $\tilde{s}_{i,m}$ 为 MS_m 接收到来自 RAU_i

的信号, 此时 MS_m 的信干比为

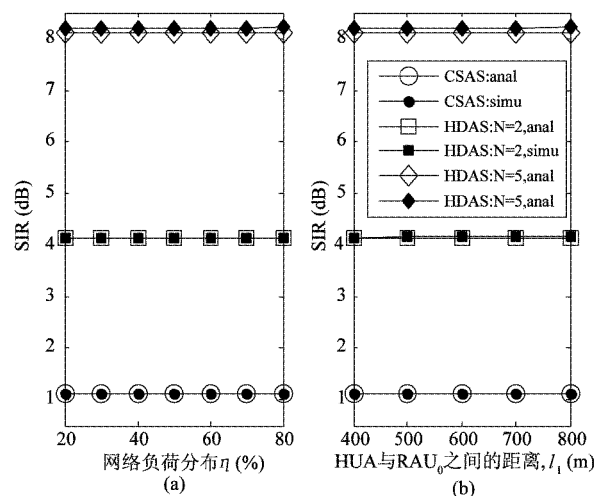
$$\Gamma_{for,m} = \frac{\max_{i \in [0, K]} \{\tilde{s}_{i,m}\}}{\sum_{i=0}^K \tilde{s}_{i,m} - \max_{i \in [1, K]} \{\tilde{s}_{i,m}\}} \quad (15)$$

在文献[8]中, 作者分析了 macro-cell/DAS 结构的功率关系, 并发现在分层覆盖结构中, 采用 GN-cell 代替 micro-cell 有利于节省发射功率, 其结论亦适用于 HDAS, 当一个 HUA 面积较大时, 可以在其中布置多个 RAU, 以降低发射功率的需求, 其代价是增加了网络建设的费用。虽然上述有关信干比的讨论是在 $N_k = 1$ 的前提下进行的, 但分析过程仅与 N 有关, 其中隐含的关系是 $N_{AS} \leq N$, 所以其结论同样适用于 HDAS 的一般结构即 $N_k > 1$ 的场景。

4 仿真结果

本节我们将通过仿真来验证上述的分析所得结论。在仿真中, 路径损耗指数 $\gamma = 4$, 阴影衰落的标准差为 8dB, CDMA 系统处理增益 $N_{pg} = 128$, RAKE 接收机的分支 $L = 5$ 。仿真场景 I: GN-cell 的半径 $R = 1000m$, RAU_0 位于坐标原点 (0, 0); 参见图 1(a), GN-cell 中仅有一个 HUA, 中心位于 $(l_1, 0)$, 半径 $r_1 = 200m$, 其中的 RAU 数目 $N_1 \in \{1, 4\}$, 即 $N \in \{2, 5\}$, $l_1 \in \{400m, 500m, 600m, 700m, 800m\}$; GN-cell 中用户总数 $M = 100$, 记 $\eta = M_H / M$, 该参数反应了网络负荷的变化。

图 2 给出上行链路的信干比与网络负荷以及 HUA 的位置之间的关系。仿真中采用文献[10]描述的迭代方法来实现, 可以看出仿真结果与 2.2 节

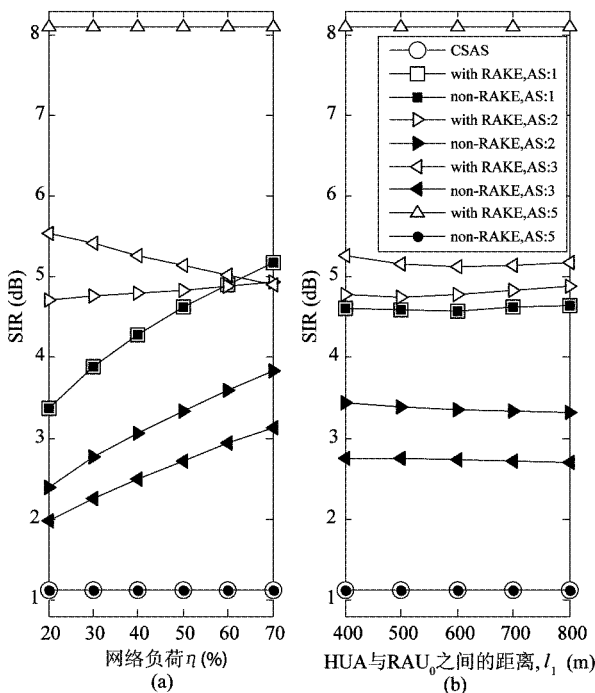


(a) SIR 与 HUA 负载的关系, $l_1 = 800m$; (b) SIR 与 HUA 位置的关系, $\eta = 50\%$

图 2 上行链路平均 SIR

中的分析结果基本一致,由图可见上行链路信干比仅与 GN-cell 中 RAU 的数目有关并随之增大,与网络负荷、HUA 所处位置均无关(图 2(b)也表明上行链路信干比与 RAU 的位置亦无关)。当 N 增大时,分析值与仿真结果出现了微小的差异,例如当 $N = 2$ 时,二者平均相差 0.032dB,而 $N = 5$ 时,平均相差 0.103dB。这是由于在分析中假设 APP.I 和 APP.II 成立,而实际中由于移动台与 RAU 的距离不同,上述假设与实际情况存在一定误差所造成的。

图 3 给出了 $N_1 = 4$ 时,HDAS 下行链路的平均



(a) SIR 与 HUA 中负载之间的关系, $l_1 = 800\text{m}$; (b) SIR 与 HUA 位置之间的关系, $\eta = 50\%$

图 3 下行链路平均 SIR

信干比与 HUA 的位置及 HUA 的负荷之间的关系。图中“with RAKE”表示使用 RAKE 接收机合并来自激活集中的信号,对应(13)式结果;“non-RAKE”表示信号功率直接相加,对应(12)式。首先,当 $N_{AS} = 1$ 时,“with RAKE”和“non-RAKE”具有相同的性能,如(15)式所描述;当 $N_{AS} > 1$ 时,在相同条件下“with RAKE”能够更有效地提高信道质量;当 $N_{AS} = N$ 时,由于干扰量的增加,“non-RAKE”的信道质量下降至与 CSAS 相同的性能。其次,“non-RAKE”模式受 GN-cell 不均匀分布影响较大,而“with RAKE”能够取得相对稳定的链路性能。最后,由于 RAU 选择和 RAKE 接收的作用,HDAS 下行链路受 HUA 的位置及其网络负荷的影响较小。

仿真场景 II: 参见图 1(b), GN-cell 中仅有 3 个 HUA, 中心分别位于(600,0), (700,0), (0,800); 半径分别为 $r_1 = 100\text{m}$, $r_2 = 200\text{m}$, $r_3 = 200\text{m}$; 其中的 RAU 数目 $N_1 = 1, N_2 = 4, N_3 = 4$; 用户数目 $M_{H,1} = 20, M_{H,2} = 50, M_{H,3} = 50, M_L = 80$ 。从而可得 $N = 10, M = 200$, 由(9)式可得到该系统上行链路的信干比为 8.084dB, 而由仿真所得的值为 8.205dB, 二者仅相差 0.122dB。前向链路的平均信干比如表 1 所示, 表中各列为整个 GN-cell 以及 LUA 和 HUA_k ($k = 1, 2, 3$) 内的平均信干比, Var 指 LUA 以及 HUA_k ($k = 1, 2, 3$) 平均信干比的方差, 反应 GN-cell 内部 SIR 分布的情况。当 $N_{AS} = 1$ 时, 下行链路的干扰量较小, 所以信干比较大, 但此时信干比会受到用户不均匀分布的影响(参见图 3(a)), 此时, Var 达 2dB 以上; 随着激活集大小的增大, Var 得到很好的改善, 特别是通过 RAKE 合并, HDAS 的下行链路信干比可以维持在一个相对稳定的水平上。

表 1 前向链路平均信干比 (dB)

Schemes	N_{AS}	GN-cell	LUA	HUA ₁	HUA ₂	HUA ₃	Var
Non-RAKE	1	6.6467	5.2869	5.1089	7.6634	7.7379	2.0941
	2	4.3240	3.5047	4.3811	4.6556	5.0809	0.4436
	3	3.0274	2.6935	4.1169	2.8187	3.2444	0.4144
With RAKE	1	6.6467	5.2869	5.1089	7.6634	7.7379	2.0941
	2	6.3619	5.2634	6.4667	6.8076	7.2951	0.7500
	3	6.3547	5.6424	7.1270	6.4857	6.8990	0.4274

5 结 论

HDAS 结构结合了 HCMS 和 DAS 的优点, 分析

与仿真结果表明, 通过上行链路的功率控制及 RAU 信号联合处理和下行链路 RAU 选择及 RAKE 接收, HDAS 中上下行链路的信干比与网络中用户的不均匀分布程度、HUA 的位置以及 HUA 中的小功率

RAU 的位置无关,从而传统 HCMS 结构中重复覆盖小区的基站偏移的问题迎刃而解,此外,只需在 HUA 中安装或增加 RAU 即可解决由用户非均匀分布所带来的容量问题。从而,HDAS 为未来蜂窝移动通信网络的设计提供了一个新的解决方案。

参考文献

- [1] Kerpez K J. A radio access system with distributed antennas. *IEEE Trans on Vehic Tech*, 1996, 45(2): 265-275
- [2] 尤肖虎,赵新胜. 分布式无线电和蜂窝移动通信网络结构. 电子学报, 2004, 32(S1):16-21
- [3] Wu X X, Murherjee B, Ghosal D. Hierarchical architectures in the third-generation cellular network. *IEEE Wireless Commun*, 2004, 11(2): 62-71
- [4] Shapira J. Microcell engineering in CDMA cellular networks. *IEEE Trans on Vehic Tech*, 1994, 43(4): 817-825
- [5] Wu J S, Chung J K, Yang Y C. Performance study for a microcell hot spot embedded in CDMA macrocell system. *IEEE Trans on Vehic Tech*, 1999, 48(1): 47-59
- [6] Kim J K, Stuber G L, Akyildiz I F. Macrodiversity power control in hierarchical CDMA cellular systems. *IEEE J Sel Areas Commun*, 2001, 19(2): 266-276
- [7] Kim J K, Stuber G L, Akyildiz I F, et al. Soft handoff analysis of hierarchical CDMA cellular systems. *IEEE Trans on Vehic Tech*, 2005, 54(3): 1122-1134
- [8] 蒋占军,潘文,王炎等. CDMA 分层蜂窝移动通信系统性能分析. 高技术通讯,2008,18(3): 238-242
- [9] Jiang Z J, Pan W, Zhao X S, et al. Analysis of handoff in distributed mobile communications system based on remote antenna unit selection. *Journal of Southeast University* (English Edition), 2007, 23(2): 156-161
- [10] Yanikomeroglu H, Sousa E S. SIR-balanced macro power control for the reverse link of CDMA sectorized distributed antenna system. In: Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, Boston, MA, USA, 1998. 915-920

Performance analysis of hierarchical distributed antenna systems

Jiang Zhanjun^{* **}, Zheng Yufu^{*}, Wang Dongming^{**}, Wang Yan^{**}

(^{*} School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070)

(^{**} National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract

A hierarchical distributed antenna system (HDAS) is presented. In the system, a remote access unit (RAU) covers the whole generalized cell (GN-cell) with a larger transmit power, and other RAUs serve hot-spots or poor-channel areas with smaller power in an overlaid manner. The signal to interference ratios (SIR) of both the uplink and the downlink of the HDAS are analyzed in a code division multiple access (CDMA) based network. A SIR balanced power control algorithm is used in the uplink and the RAU selection is employed in the downlink. The analysis and simulation results show that the SIR of the uplink grows with the number of RAUs in the GN-cell. And the SIRs of both the uplink and the downlink are independent of locations of RAUs with smaller power and the distribution of mobile stations in the GN-cell when the RAKE receiver is used in the downlink. The results show that the HDAS can solve the problems such as the enhancement of system capacity and frequent handoffs that are caused by the uneven distribution of users.

Key words: hierarchical network structure, distributed antenna systems (DAS), remote access units selection, power control