

基于平台摆动模型的平流层 CDMA 系统呼叫控制方案

游思晴^{1,2}, 景晓军¹, 齐兆群¹, 孙松林¹

(1. 北京邮电大学信息与通信工程学院, 北京 100876; 2. 北京邮电大学世纪学院, 北京 102613)

摘 要: 本文分析了平流层平台摆动对 HAPS-CDMA 系统的影响, 完善了平台不稳定性的研究, 并提出摆动对小区内和对小区间干扰因子的概念, 给出此时系统容量的计算方法; 提出了一种用户呼叫控制方案, 即: 处于受平台摆动方向上的中心参考小区边缘用户的信号由相邻的两个基站同时接收的策略, 来避免“乒乓切换”, 仿真结果说明该方案很好的平衡了系统容量和系统资源, 对系统性能的改善明显.

关键词: 平流层平台; 波束成形; 平台摆动; 系统容量; 干扰因子

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 07-1486-05

A HAPS-CDMA Call Control Solution Based on Platform Swinging Model

YOU Si-qing^{1,2}, JING Xiao-jun¹, QI Zhao-qun¹, SUN Song-lin¹

(1. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Century College of BUPT, Beijing 102613, China)

Abstract: The effects of the platform swinging on HAPS-CDMA system are analyzed to complete the study on the HAPS instability, the intercell and intracell interference factors caused by the platform swinging are defined, and the capacity algorithm of the HAPS-CDMA swinging model is given. Then a novel user access solution is presented, namely the mechanisms of the signals from the users in the edge of the center reference cell in the swinging direction received by both of the two adjacent base stations to avoid the “pingpong handover”. From numerical results it is observed that the algorithms can balance the system capacity and the resource well, and improve the system performance significantly.

Key words: HAPS (High Altitude Platform Stations); beam forming; platform swinging; system capacity; interference factor

1 引言

平流层平台 (HAPS) 通信相对于传统的卫星通信和地面蜂窝移动通信, 有着造价低、容量大、覆盖范围广、布网速度快, 适合于人口密度较少的地区和突发情况的应急通信等显著优势, 是目前被广泛考虑的第三代移动通信系统的补充和扩展^[1~3].

然而, HAPS 受到同温层风力的影响, 仅能维持在一种准静止状态^[3~5]. 文献[4]给出了 HAPS 工作状态下的准静止模型, 指出平台在垂直 $\pm 700\text{m}$ 和水平 $\pm 400\text{m}$ 的范围内移动, 在角度小于 1° 的范围内摆动. 文献[5]认为垂直方向上的位移较水平方向的位移, 在系统容量和小小区切换方面的负作用更为突出. 文献[6]讨论了两种多天线机制下平台位移对系统性能的影响: 一种是天线

保持各个基站主波束对夹角方向不变, 一种随平台位移波束自适应调制方向对准原覆盖区; 在切换可以即时完成并不掉话的假设下, 前者可以保持系统容量基本不变, 但是发生切换的用户数占总人数的 30%, 后者虽然不发生切换, 但是系统容量下降. 以上文献都是基于以下假设: (1) 平台不稳定时, 用户可以立即发生切换, 并不出现掉话; (2) 只考虑平台位移对系统性能的影响, 认为平台摆动由于角度较小对系统容量的影响可以忽略不计. 因此仿真结论与真实情况相比有一定局限性.

本文首先分析了平台摆动对系统性能的影响, 并且在采用参考文献[6]的第一种基站天线波束成形方式的基础上, 提出了在受平台摆动影响的方向上的小区边缘用户的信号由乒乓切换涉及的两个相邻基站同时接收的策略, 来避免“乒乓切换”. 另外, 提出了平台摆动对小

区内干扰影响因子和对小区间干扰影响因子的概念,并在此基础上得出摆动时系统容量计算公式.由仿真结果知,平台摆动对系统性能影响较大不能忽略,算法对这种影响有很好的改善作用.

2 HAPS 艇载 CDMA 模型和系统容量计算

2.1 系统模型

CDMA 基站位于 HAPS 平台上,并采用波束成形的阵列天线覆盖地面小区,主波束中心对准小区中心.波束主瓣的增益遵循 ITU 标准^[7],以 dB 为单位, θ 为偏离主波束中心的夹角,

$$G(\theta) = \begin{cases} 34.8 - 3\left(\frac{\theta}{1.57}\right)^2, & 0^\circ \leq \theta \leq 4.53^\circ \\ 9.8, & 4.53^\circ < \theta \leq 5.87^\circ \\ 55.95 - 60\log(\theta), & 5.87^\circ < \theta \leq 37^\circ \\ -38.2, & 37^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

中心参考小区 B_0 位于 HAPS 正下方,距离 HAPS 21Km.其它小区 B_j 呈蜂窝状分层结构分布于中心参考小区周围,小区半径为 R ,面积为 S .假设各个小区所有用户均匀分布^[6],用户数为 M ,因此每个小区的用户密度 ρ 为 M/S .各小区用户的位置关系如图 1 所示^[1].

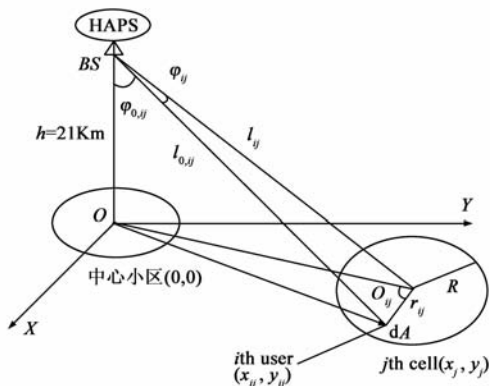


图1 各小区用户的位置关系^[1]

图 1 中,中心参考小区的中心坐标为 $(0,0)$,第 j 个小区中心坐标为 (x_j, y_j) ,第 j 个小区内用户 i 的坐标为 (x_{ij}, y_{ij}) ,其中 $\varphi_{0,ij}$ 和 φ_{ij} 、 $l_{0,ij}$ 和 l_{ij} 、 $\zeta_{0,ij}$ 和 ζ_{ij} 分别表示用户 i 与中心参考小区基站 0 和其服务小区基站主波束中心夹角、路径长度、阴影衰落,可知 $l_{0,ij} \approx l_{ij}$, $\zeta_{0,ij} \approx \zeta_{ij}$. r_{ij} 表示用户 i 到它的服务小区中心的距离, dA 为积分单位面积.

2.2 系统容量计算

平流层-CDMA 在静止状态下通过理想功控,各移动台达到基站的接收功率都为 P ,则发送功率为,

$$P_{sent} = P \cdot G(\varphi_{ij}) \cdot l_{ij}^{-\mu} \cdot 10^{-\frac{\zeta_{ij}}{10}} \quad (2)$$

式中 $G(\varphi_{ij})$ 为天线增益十进制表达, μ 是路径损耗因子,取值为 $2 \sim 4$ ^[3].

假设话音激活因子为 α , HAPS-CDMA 系统当平台静止时,系统容量为^[1]:

$$M = \frac{1}{\alpha(1+f)} \left[\frac{W/R_b}{E_b/I_0} - \frac{\sigma_n^2}{P} \right] + 1 \quad (3)$$

其中, E_b 为比特能量, I_0 为总的干扰功率, R_b 为比特速率, W 为系统带宽, σ_n^2 为高斯白噪声功率, f 为干扰因子,

$$f = \frac{I_{intra}}{I_{inter}} = \sum_{j \in T, j \neq 0} \int_A \frac{G(\varphi_{0,ij})}{G(\varphi_{ij})} \frac{1}{S} dA \quad (4)$$

其中, T 表示小区簇涉及到的覆盖面积, S 为小区面积, I_{intra} 表示小区内干扰, I_{inter} 表示小区间干扰,

$$I_{inter} = \alpha(M-1)P \quad (5)$$

3 平台摆动模型

平流层风力能够在较长时间内保持某一方向.另一方面,平台摆动与平台位移有很大的区别:平台位移需要一定的时间,并且由动力设备保证其能停留在某个位置一段时间,为切换的完成提供了时间条件;而平台以一定角速度时刻摆动,不可能驻留在某个角度^[8].基于上述结论,本文假设平台是沿某个方向左右往返摆动,此时假设用户立即切换,并不出现掉话是不符合实际的.事实上,这部分用户将出现“乒乓切换”现象而大量掉话;同时,由于这部分用户大多处于小区边缘,还会给系统引入很大的干扰,严重影响了通信质量和系统容量.

平台摆动可以控制在 1° 以内^[4],假设平台偏离平衡点的角度为 $\Delta\theta(t)$.假设在平台摆动时,各个基站天线主波束对的夹角保持不变,当平台沿某一方向摆动时,模型可由图 2 所示.

图 2 中,灰色部分表示静止时每个小区的覆盖范围,当平台摆动时,小区 j 基站的主波束中心在地面的投影由原来的 (x_j, y_j) 变化为 (x'_j, y'_j) ,阴影部分为摆动时受影响的面积.

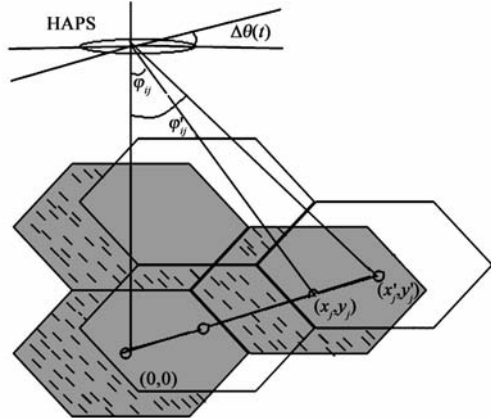


图2 HAPS摆动模型

4 本文算法及系统容量分析

本文算法思想如下:中心参考小区是热点小区^[1],因此本文算法优先在该小区使用;当发现该小区某一方向上边缘大部分用户来回切换多次时,即可启动算法:确认该方向为受平台摆动影响的方向;这些用户信号由切换涉及的两个基站同时接收,来避免“乒乓切换”。

摆动角度 $\Delta\theta(t)$ 最大值为 1° ^[3,4],因此中心小区受到影响的区域为受摆动影响方向上小区边缘宽度为 $h \cdot \tan\Delta\theta(t)$ 的范围,见图 3,但考虑到该算法对相邻小区系统资源占用较大,如码字资源、频带资源等,不能将所有受影响区域都纳入算法,小区边缘的确定具体见第五部分.把纳入算法的区域记作 A' ,其它区域记作 A .

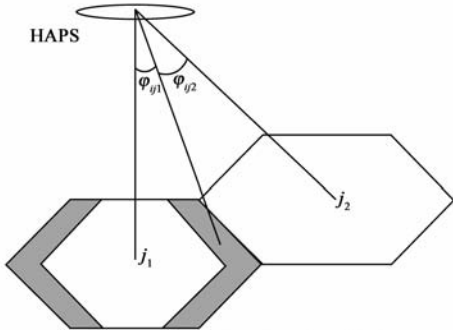


图3 受影响区域用户通信示意图

如图 3 所示,处于 A' 区域的用户 i 应与基站 j_1 和基站 j_2 同时通信,而两个基站之间通过光纤直连,因此应使该用户的接收功率为两个基站接收功率之和,并且等于单个基站服务时的接收功率 P . 且 $l_{j_1} \approx l_{j_2}$, $\zeta_{j_1} \approx \zeta_{j_2}$, 分布记为 l_i, ζ_i . 理想功控时,接收功率 P 为,

$$P = P_{j_1} + P_{j_2} \quad (6)$$

代入式(2),该部分用户的发送功率为

$$P_{\text{sent}} = P \cdot l_i^2 \cdot 10^{-\frac{\zeta_i}{10}} [G(\varphi_{j_1}) + G(\varphi_{j_2})]^{-1} \quad (7)$$

未受影响区域用户的发送功率遵循式(2).

考虑到平台摆动的频繁性,移动台的功率控制跟不上摆动的变化,因此发送功率 P_{sent} 仍为理想功控时的值,即式(2)或式(6). 而此时的天线增益变化为 $G(\varphi'_{ij})$, φ'_{ij} 为摆动时用户与基站 j 主波束方向的夹角,路径长度 $l_{ij} \approx l'_{ij}$, 阴影衰落 $\zeta_{ij} \approx \zeta'_{ij}$.

所以基站 j 接收到 A 区域的用户功率 P'_A , 如式(8)所示

$$P'_A = P \frac{G(\varphi'_{ij})}{G(\varphi_{ij})} \quad (8)$$

中心参考小区接收到 A' 区域的功率变为,

$$P'_{A'} = PG(\varphi'_{i0}) [G(\varphi_{i0}) + G(\varphi_{i0_{adj}})]^{-1} \quad (9)$$

其中, 0_{adj} 为与用户 i 通信的除去中心小区之外的另一个相邻小区,因此,中心小区受到的同小区内干扰 I'_{inter} 变化为式(10)

$$\begin{aligned} I'_{\text{inter}} &= \alpha P \int_A \frac{G(\varphi'_{i0})}{G(\varphi_{i0})} \rho dA + \alpha P \int_{A'} \frac{G(\varphi'_{i0})}{G(\varphi_{i0}) + G(\varphi_{i0_{adj}})} \rho dA' \\ &= (\alpha MP) f'_{\text{inter}} \approx I_{\text{inter}} f'_{\text{inter}} \end{aligned} \quad (10)$$

定义 f'_{inter} 为平台摆动对小区内干扰影响因子,可以看出 f'_{inter} 是小区内干扰在平台摆动时与静止时的比值. 同理,相邻小区干扰变化为式(11),

$$\begin{aligned} I'_{\text{intra}} &= \alpha P \sum_{j \in T, T \neq 0} \int_A \frac{G(\varphi'_{ij,0})}{G(\varphi_{ij})} \rho dA \\ &= (\alpha MP) f'_{\text{intra}} \approx I_{\text{inter}} f'_{\text{intra}} \end{aligned} \quad (11)$$

其中,定义 f'_{intra} 为平台摆动对第 N 层相邻小区干扰影响因子,其中平台摆动时干扰因子 f'_{intra} 其值为:

$$f'_{\text{intra}} = \sum_{j \in T_N} \int_A \frac{G(\varphi'_{ij,0})}{G(\varphi_{ij})} \frac{1}{S} dA \quad (12)$$

因此,干扰因子 $f_{\text{intra}} = \sum_{T_N \in T, N \neq 1} f'_{\text{intra}}$, 其中, T 表示一个小小区簇, T_N 表示第 N 圈的小区.

综上,此时 HAPS-CDMA 系统容量为

$$M = \frac{1}{\alpha(f'_{\text{inter}} + f'_{\text{intra}})} \left[\frac{W/R_b}{E_b/I_0} - \frac{\sigma_n^2}{P} \right] + 1 \quad (13)$$

5 仿真结果

5.1 仿真参数

当小区簇大于 3 圈时,小区间干扰基本保持不变^[3,6],因此本文采用 3 圈,19 个小区的蜂窝状分层结构,仿真主要参数如下^[2]:小区半径 $R = 1\text{km}$,载波频率 $f_c = 1950\text{MHz}$,话音激活因子 $\alpha = 0.6$,扩频增益 $W/R_b = 256$, $E_b/I_0 = 5\text{dB}$, $P/\sigma_n^2 = -1\text{dB}$.

5.2 传统算法下的中心参考小区系统容量

由分析知,平台摆动时,受影响区域的用户由于“乒乓效应”极可能发生掉话,因此中心参考小区系统容量的最差值与受影响的面积成正比. 假设当平台处于静止状态时,主波束覆盖范围为 a ;当平台摆动时,主波束与原覆盖范围重叠的部分为 a' . 因此受平台摆动影响区域的概率为: $r = (a - a')/a$ ^[5,6].

由图 4 知,当平台摆动在 1° 时^[4],受影响区域占总面积的 48.5%,考虑到文中假设用户均匀分布,此时最差系统容量下降 48.5%.

若假设该区域用户都不发生掉话,由于功率控制误差,干扰增加,系统容量也将下降. 此时平台摆动对系统的影响表现为小区内干扰和小区间干扰的变化. 由图 5(a)和(b)可知,当平台摆动 1° 时,小区内干扰增加 5%,小区间干扰因子由 0.39 增加到 0.54.

由式(3)可得图 6.平台摆动 0°时,用户数为 96 个;1°时,下降到 84 个,系统容量下降 12.5%,因此平台摆动是不可以忽略的.

5.3 本文算法下的系统容量

根据式(11),可得图 7 归一化后小区内干扰随小区边缘宽度变化图和表 1 各种小区边缘宽度下无摆动时小区内干扰值,当中心小区边缘采用文中算法的区域越大,平台摆动角为 0 度时,小区内干扰越小,这是因为两个小区基站的天线为这部分用户提供了分集增益,从而减少了发送功率.但是这种改善是由牺牲系统资源获得的.

当边缘小于 100m 时,小区内干扰随平台摆动幅度的增加而增加,反之亦然.当边缘为 100m 时,小区内干扰基本上不受平台摆动的影响.因此本文将使用本文

算法的范围 A' 确定为摆动方向小区边缘为宽度 100m 的区域.

由第四部分可知,在本算法激活前,小区容量为 96.当平台摆动一段时间后,本文算法启动,在假设用户不掉话的情况下,系统容量瞬时变化如图 8,最大值为 105,最小值为 94,此时系统容量均值介于两者之间,依赖于此时的角度分布情况,结论明显优于传统算法.另一方面,如果考虑用户掉话,在摆动 1 度的情况下,可能发生掉话的区域也下降到 29.5%.

表 1 各种小区边缘宽度下无摆动时小区内干扰值

| 小区边缘宽度(m) | 平台摆动角为 0°的小区内干扰值 $f'_{inter}(0)$ |
|-----------|----------------------------------|
| 0 | 1.0000 |
| 50 | 0.9496 |
| 100 | 0.8827 |
| 200 | 0.7490 |

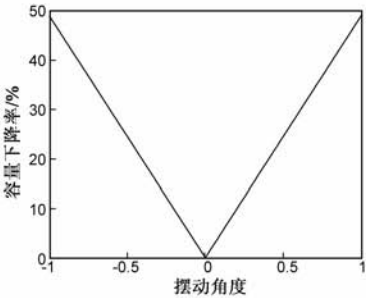
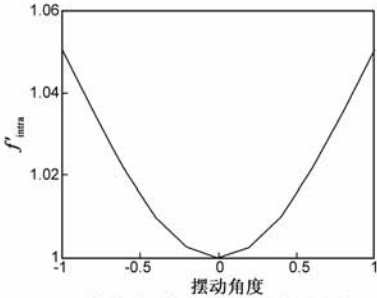
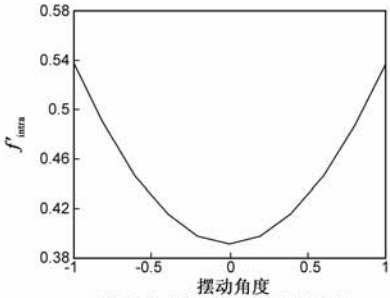


图4 平台摆动时,小区覆盖受影响的区域



(a) 平台摆动时小区内干扰影响因子和平台摆动角度的关系



(b) 平台摆动时小区干扰影响因子和平台摆动角度的关系

图5

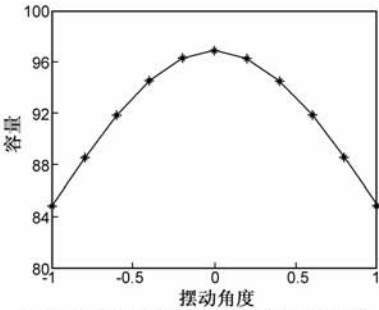


图6 用户不掉话时,传统算法下,系统容量瞬时值与偏移角度的关系

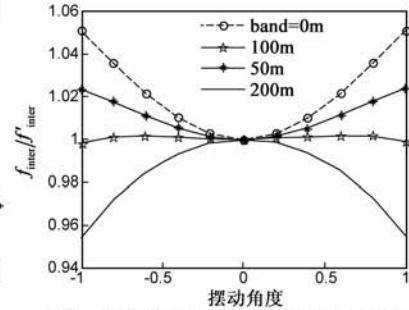


图7 本文算法下的归一化小区内干扰随摆动角度变化图

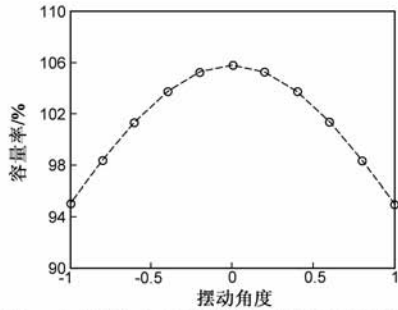


图8 本文算法中系统容量与角度偏移的关系

6 结论

本文首先分析了平台摆动对系统容量的影响,由仿真结果可知这种不稳定因素是不可忽略的.然后,提出了处于平台摆动方向上的中心参考小区边缘用户的信号由相邻的两个基站同时接收来避免“乒乓切换”的策略,并给出仿真结果证明该算法对克服平台摆动的不稳定性有积极作用.但是,正如文中所述,这种改善是以消耗相邻小区的系统资源来实现的.因此在未来的研究工作中,将重点解决如何判断该算法的启动时刻,以及如何区分因平台摆动造成的用户切换和用户移动造成的用户切换.

参考文献

[1] 程月波,金荣洪,等.平流层艇载 CDMA 系统的嵌入式多波束天线方案[J].电子与信息学,2006,28(8):1395-1399.
Cheng Yue-bo, Jin Rong-hong, et al. An embedded multibeam configuration for CDMA communication systems on HAPS[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2006, 28(8):1395-1399. (in Chinese)
[2] 牛志升,刘嵩,吴佑寿.基于多建筑阻挡概率的平流层多径信道模型[J].电子学报,2004,32(12A):132-135.
Niu Zhi-sheng, Liu Song, Wu You-shou. A blockage based

- channel model for high altitude platform communications[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12A): 132 – 135. (in Chinese)
- [3] 管明祥. HAPS 资源管理及容量估算研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- Guan MingXiang. Research on Resource Management and Capacity Estimation Method for HAPS[D]. Harbin: HIT, 2008. (in Chinese)
- [4] ITU-R F.1569. Technical and operational characteristics for the fixed service using high altitude platform stations in the bands 27.5 – 28.35 GHz and 31 ~ 31.3 GHz[S].
- [5] D I Axiotis, M E Theologou, E D Sykas. The effect of platform instability on the system level performance of HAPS UMTS [J]. IEEE Communication Letters, 2004, 8(2): 111 – 113.
- [6] J J Huang, et al. The effect of platform displacement on a HAPS CDMA system with multibeam antennas [A]. IEEE PIMRC[C]. French Riviera: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008. 1 – 5.
- [7] D I Axiotis, M E Theologou. On the effects of platform positional instability on a UMTS system served by HAPS[A]. IEEE PIMRC[C]. Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004. 2368 – 2372.
- [8] 王明建, 黄新生. 平流层飞艇平台建模与仿真分析[J]. 计算机仿真, 2008, 25(5): 47 – 50.
- Wang Ming-jian Huang Xin-sheng. Modeling and simulation analysis of stratospheric airship platform[J]. Computer Simulation, 2008, 25(5): 47 – 50. (in Chinese)

作者简介



游思晴 女, 福建福州人, 现为北京邮电大学信息与通信工程学院博士研究生; 北京邮电大学世纪学院教师. 主要研究方向: 图像处理、军事通信、移动通信.
E-mail: ysq6228@gmail.com



景晓军 男, 北京人, 现为北京邮电大学信息与通信工程学院教授, 博士生导师. 1999 年获国防科技大学通信与信息系统专业博士学位. 研究方向: 军事通信、信息融合、模式识别、图像处理.
E-mail: jxiaojun@bupt.edu.cn



齐兆群 男, 黑龙江鸡西人, 现为北京邮电大学信息与通信工程学院博士研究生. 研究方向: 军事通信、图像处理、移动通信.
E-mail: qizhaqun@bupt.edu.cn



孙松林 男, 山东青岛人, 现为北京邮电大学信息与通信工程学院副教授. 2003 年获北京邮电大学通信与信息系统专业博士学位. 研究方向: 无线多媒体通信与信号处理、嵌入式系统.
E-mail: slsun@bupt.edu.cn