

一种基于距离判决的 HAPS 通信无线 DCA 算法

管明祥¹, 郭 庆², 顾学迈²

(1. 深圳信息职业技术学院电子通信技术系, 广东深圳 518029; 2. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 本文提出一种基于距离判决的高空平台站(HAPS)通信的动态信道分配(DCA)算法,通过对无线链路功率到收发链路距离的转化,实时监测 HAPS 通信的收发链路距离来进行无线信道分配,解决 HAPS 通信中由于负载不均等造成的无线资源无法满足用户需求的问题.通过与随机信道分配算法及最差可接受信道分配算法的性能进行比较,本文提出的基于距离判决的算法能够在阻塞概率稍微增加的情况下解决系统连接中断问题,有效地提高了系统的整体性能.

关键词: 高空平台站; 动态信道分配; 距离判决; 算法

中图分类号: TN926.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013)01-0018-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.01.004

A Dynamic Wireless Channel Allocation Algorithm in HAPS Communication Based on Distance Verdict

GUAN Ming-xiang¹, GUO Qing², GU Xue-mai²

(1. Department of Electronic Communication Technology, Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen, Guangdong 518029, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: To resolve the lack of wireless channel resource causing by load unbalance, a novel dynamic channel allocation algorithm in HAPS communication based on distance verdict is proposed through real-time monitor of distance which corresponded the transmit-receive power of wireless link. By comparison to two wireless channel allocation algorithms in literature, the call drop ratio is decreased greatly with slight blockage ratio increasing and the system performance is improved availably.

Key words: high altitude platform stations; dynamic channel allocation; distance verdict; algorithm

1 引言

近来,有一种新的移动通信手段出现,它就是高空平台站通信(HAPS, High Altitude Platform Stations)^[1~3].一般来说, HAPS 通信网络是指在近地空间的高度约 20km~100km,由长驻空间 5~10 年,准静止、可装载一定规模有效载荷的高空平台(HAP, High Altitude Platform)所构成的网络,在近地空间范围内使用稳定的通信平台作为微波中继站,与地面控制设备、入口设备以及多种无线用户构成的通信系统,高空平台既可以与卫星地面综合组网,也可以单独与地面组网,如图 1 所示.其中通信平台与地球自转保持同步,可长期驻留空中.高空平台通信利用良好的电波传输特性,通过平台实现地面用户之间、平台之间或平台与卫星之间的通信连接,具有布局灵活、应用广泛、成本低廉、安全可靠等优

点^[4,5].在一个高空平台覆盖范围内,仍然可以采用蜂窝网结构组织通信^[6].

由于 HAPS 通信具有很多传统无线通信设施(如陆地、卫星通信系统)所不具备的优点,使用高空平台的无线通信系统成为世界关注的焦点.利用多个具有相同带宽的高空通信平台为一个共同的区域服务能够极大地增加用户容量,并提高频谱的利用率^[7].文献[8]中测试了几种 HAP 点波束结构的信道分配算法.进一步研究地面算法,特别是波束交迭.文中探讨了信道分配算法,并对该算法进行了性能分析.但该算法没有考虑动态信道分配(DCA, Dynamic Channel Allocation).文献[9]研究了 HAPS CDMA 系统在网络高负载情况下,为保证呼叫的公平性,提出了动态信道分配算法,有效的降低了系统的阻塞概率,保证系统的公平性.但没有考虑呼叫中断率及 GoS(Grade of Service)综合指标.文献[10]提出

收稿日期:2011-03-24;修回日期:2012-07-26

基金项目:国家自然科学基金(No. 61040004);广东省自然科学基金(No. S2011010006111, No. 10451802904006030);广东省产学研项目(No. 2011B090400233);深圳信息职业技术学院重点实验室(No. SYS201004);深圳信息职业技术学院创新团队(No. CXTD2-003)

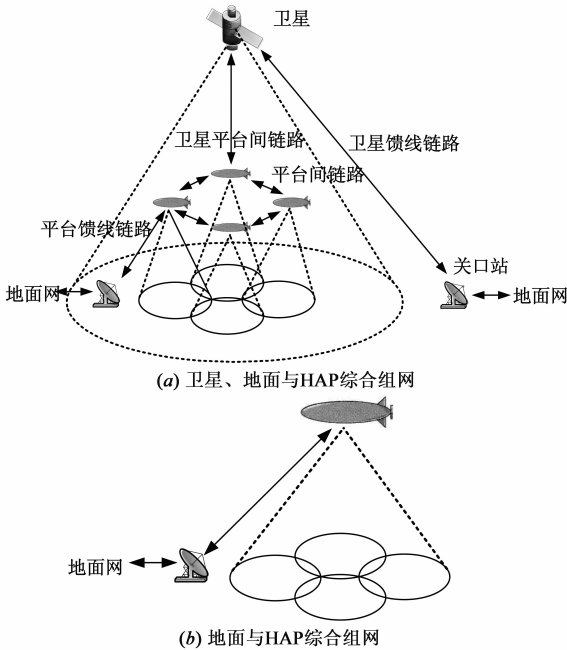


图1 HAPS通信网络结构

HAPS 通信随机信道分配算法,该算法分配简单,但没有考虑各业务的服务质量,分配的公平性欠缺.文献[11]提出了 HAPS 通信最差可接受信道分配算法,该算法能有效的改善系统呼叫阻塞性能,但是也降低了每次呼叫连接的质量.综上文献所提的信道分配算法没有考虑到 HAPS 通信特殊结构,高空平台利用定向天线减轻其他高空平台对于通信链路的影响,并更加有效的利用信道资源.本文提出的基于距离判决的 HAPS 通信无线动态信道分配算法,高效、合理地分配各类型的业务连接,在保障各类业务服务质量的同时,使 HAPS 通信的资源利用率达到最佳.

2 DCA 算法

假设各小区的业务量分别是 A_1, A_2, \dots, A_K , 其中 K 表示高空平台通信网络小区复用方式,且 $K \geq 2$.假定系统信道总数为 N ,要求服务的等级为 B .在信道总数和业务量之间存在关系式,假设关系式为 $C = f(A, B)$,其中 C 为信道数量, A 为业务量,记小区 i 所需要的信道数随时间变化为 $c_i(t)$,令 $C_i = \max_i(c_i(t))$, ($1 \leq i \leq K$).假定小区 $1, 2, \dots, K$ 中被占用的信道数分别是 F_1, F_2, \dots, F_K ,剩下可以使用的信道数为 D ,则系统在正常运行条件下,必须满足:

$$\left. \begin{aligned} F_1 + D &\geq C_1 \\ F_2 + D &\geq C_2 \\ &\vdots \\ F_K + D &\geq C_K \\ \sum_{i=1}^K F_i + D &\leq N \end{aligned} \right\} (1)$$

通过式(1)可以得到:

$$D \geq \frac{\sum_{i=1}^K C_i - N}{K - 1} \quad (2)$$

由式(2),本文定义:

$$D_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^K C_i - N}{K - 1} \quad (3)$$

若 $D_{\min} \geq 0$,这意味着在一个区群中各小区在该各自服务等级下所需要的信道数量的最大值大于系统可用信道总数,即 $N \leq \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$,此时,如果各小区的业务需求同时达到峰值,则系统肯定无法满足要求的性能指标.

若 $D_{\min} = 0$,意味着系统所能提供的容量刚好满足区群内各小区用户的最大需求,即 $N = \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$.此时,根据系统刚好满足各小区最大业务所需要的信道数,这种情况也是资源利用率最高的情况,具体的信道分配满足 $F_i = C_i$, ($i = 1, 2, \dots, K$),剩余信道数 $D = 0$.

若 $D_{\min} \leq 0$,则意味着系统提供的信道数量大于在一个簇群中各小区在满足各自业务服务等级下所需要的信道数量峰值之和,即 $N \geq \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$.此时服务中用户的需求没有达到系统容量,因此只需要给各小区分配一定的信道数即可满足需求,将剩余的信道数量设置为动态分配部分,动态信道的分配可以采取一定的算法,随时可以准备为某个小区的突发业务服务,则信道分配满足下列关系式:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= C_1 \\ F_2 &= C_2 \\ &\vdots \\ F_K &= C_K \\ D &= N - \sum_{i=1}^K C_i \end{aligned} \right\} (4)$$

很明显,只有当 $D_{\min} \leq 0$ 时,系统具有剩余的信道资源为 $N - \sum_{i=1}^K C_i$,该资源如何分配?本文提出的基于距离判决的 DCA 算法将在保证公平有效的满足该区群内用户需求时提高系统整体性能.

3 基于距离判决的无线 DCA 算法

典型的 HAPS 通信的覆盖区域分为内环和外环区,其中仰角大于 30° 的区域为内环区,小于 30° 的区域为外环区.在内环区域内,电波传播基本为恒参信道,可以按照一般的微波链路进行分析;而在外环区域内,由于地形、建筑、植被等的反射,以及高空平台本身的随机

摆动与反射,造成地面接收电平严重衰落,由恒参信道逐渐变为莱斯(Ricean)信道.本文研究的多高空平台的内环交叠区域,因此,可利用视距传播模型进行计算.接收功率是有效的数据包到达接收高空平台的有效功率,根据 Friss 公式:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (5)$$

其中, $P_r(d)$ 为距离发射天线 d 米处的接收功率, P_t 为发射功率, G_t 和 G_r 分别是发射和接收天线的增益, λ 为波长, L 是由传输线以及天线损耗等引起的系统损耗因子. 在这里假设 $L = 1$, 即无硬件损耗. $L_p = (\frac{\lambda}{4\pi d})^2$ 为自由空间的路径损耗, 且波长 $\lambda = \frac{c}{f_c}$, f_c 为信号的中心频率.

图 2 示意一个装配有 CDMA 通信有效载荷和多波束相阵天线的多高空平台通信系统位于距地面 20km 的空间. 有了这些机载设备, 空平台通信系统的重叠覆盖区域内可包含数个蜂窝小区. 假设系统具有基站位置保持机制或调整波束指向能够补偿由于高空平台移动造成的剩余指向误差. 因此使得各用户天线的波束增益最大方向无偏差的指向接入高空平台(主平台), 并且所有的高空平台均等角度的位于同一个圆上.

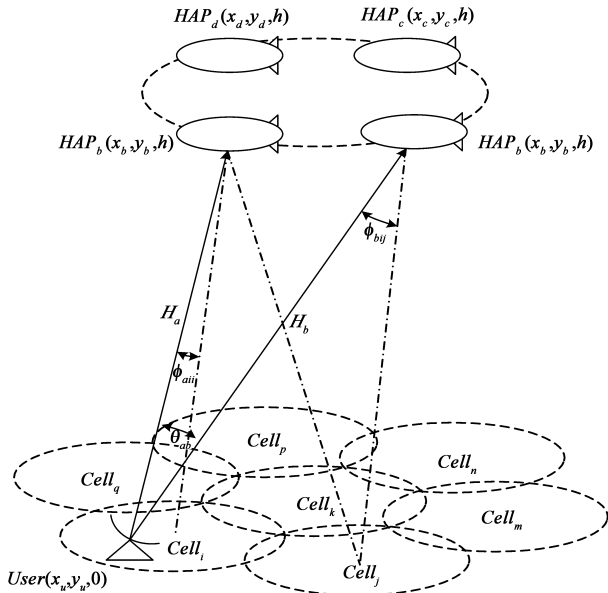


图2 高空平台通信无线信道分配场景

目前典型的多波束相阵天线具有相对较窄的波束带宽,从而具有较高的指向性,可以极大的减小多高空平台服务于同一地区时的相互间干扰.对于这种窄波束天线一方面要求能够提供足够的天线增益来支持链路预算,另一方面能够有效的降低对接入其他高空平台用户链路的干扰水平.根据 ITU 建议高空平台通信系统采用的多波束相阵天线在偏离波束对准方向 θ_{ab} 角的

增益可表示为:

$$G_r(\theta_{ab}) = \begin{cases} 34.8 - 3(\frac{\theta_{ab}}{1.57})^2, & 0^\circ \leq \theta_{ab} \leq 4.53^\circ \\ 9.8, & 4.53^\circ \leq \theta_{ab} \leq 5.87^\circ \\ 55.95 - 60\log(\theta_{ab}), & 5.87^\circ \leq \theta_{ab} \leq 37^\circ \\ -38.2, & 37^\circ \leq \theta_{ab} \leq 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

在该场景中,用户和高空平台的距离为:

$$H_a = \sqrt{(x_a - x_u)^2 + (y_a - y_u)^2 + h^2} \quad (7)$$

用户与目标高空平台及用户与干扰高空平台连线的夹角为:

$$\theta_{ab} = \arccos(\frac{H_a^2 + H_b^2 - H_s^2}{2H_a H_b}) \quad (8)$$

其中, H_s 为两高空平台间的距离.

根据高空平台基站天线的位置排列关系可知,位于一个高空平台上的所有上行接收基站相互间距离仅为几米,因此,在上行链路中,传播的信号到达各个基站的传播损耗几乎相同,移动用户发送给基站的信号与对同一高空平台上的邻近基站的干扰的差异仅仅取决于相阵天线增益在与用户连线方向的不同.而移动用户接入网络后,发送的信号也会对其他高空平台的接收基站产生干扰,但由于移动用户天线具有指向性,在干扰高空平台方向上的增益已经相当小,使得对于位于其他高空平台上的基站产生的干扰大为减小.

假设位于小区 i 的用户到目标高空平台 a 及目标高空平台 a 到其服务的小区 i 中心的连线夹角为 ϕ_{aii} , 干扰高空平台到小区 i 内用户的连线与到小区 j 中心的夹角为 ϕ_{bij} , 因此,由目标高空平台 a 接收到的信号功率为:

$$P_{r,s}(H_a) = \frac{P_t G_{t,m} G_r(\phi_{aii}) \lambda^2}{(4\pi)^2 H_a^2} \quad (9)$$

移动用户对目标高空平台 a 上指向 j 小区基站的干扰功率为:

$$P_{r,i}(H_a) = \frac{P_t G_{t,m} G_r(\phi_{aii}) \lambda^2}{(4\pi)^2 H_a^2} \quad (10)$$

移动用户对高空平台 b 上指向 j 小区的基站的干扰功率为:

$$P_{r,i}(H_b) = \frac{P_t G_t(\theta_{ab}) G_r(\phi_{bij}) \lambda^2}{(4\pi)^2 H_b^2} \quad (11)$$

下标 s 代表信号, i 代表干扰. 同理,也可以计算出其他高空平台收到的干扰功率的大小.

通过对 HAPS 通信无线链路功率推导,把无线链路功率反映到收发链路距离上, HAPS 通信为呼叫到达用户选择距离最近的高空通信平台进行接入具有最高功率水平的高空平台被选中(由于地面用户到平台之间

没有遮挡等衰落发生,功率水平高的平台为最近的高空平台).如果在最近的高空平台上没有可用信道,新到达的用户会从次近高空平台选择一个信道,直到整个系统中没有可接入高空平台为止,用户呼叫才被阻塞.

假设系统的平台数为 M ,分别为 m_1, m_2, \dots, m_M ,用户 a 到平台 m_u 的距离为式(7),可以改写为:

$$H_{au} = \sqrt{(x_a - x_u)^2 + (y_a - y_u)^2 + h^2} \quad (12)$$

其中, $(x_a, y_a), (x_u, y_u)$ 分别为用户 a 与平台 m_u 正下点的坐标, h 为平台高度.

用户 a 到平台 m_1, m_2, \dots, m_M 的距离分别为 $H_{a1}, H_{a2}, \dots, H_{aM}$,平台 m_1, m_2, \dots, m_M 的剩余信道数分别为 U_1, U_2, \dots, U_M ,由上知道, U_1, U_2, \dots, U_M 满足如下关系式:

$$U_1 + U_2 + \dots + U_M = U \quad (13)$$

令 $H_{\min} = \min\{H_{a1}, H_{a2}, \dots, H_{aM}\}$,用户 a 到平台 m_1, m_2, \dots, m_M 的距离按从小到大排列为 $H_{\min1} < H_{\min2} < \dots < H_{\min M}$,则当用户 a 发起呼叫时,需要判断与用户 a 最近距离为 $H_{\min1}$ 的平台 $m_{\min1}$ 的剩余信道数, $m_{\min1} \in \{m_1, m_2, \dots, m_M\}$.

设 $m_{\min1}$ 的剩余信道数为 $U_{\min1}$.

若 $U_{\min1} > 0$,则:

$$F_a = C_a, C_a \in U_{\min1} \quad (14)$$

若 $U_{\min1} = 0, U_{\min2} > 0$,则平台 $m_{\min1}$ 拒接用户 a 接入,继而选择与距离次近的平台 $H_{\min2}$ 接入,即:

$$F_a = C_a, C_a \in U_{\min2} \quad (15)$$

依次类推,就可以得到:

$$\begin{cases} F_a = C_a, C_a \in U_{\min1}, U_{\min1} > 0 \\ F_a = C_a, C_a \in U_{\min2}, U_{\min1} = 0, U_{\min2} > 0 \\ \vdots \\ F_a = C_a, C_a \in U_{\min M}, U_{\min1} = 0, U_{\min2} = 0, \dots, U_{\min M-1} = 0, \\ U_{\min M} > 0 \end{cases} \quad (16)$$

4 性能比较与分析

4.1 仿真环境建立

为了动态地对 HAPS 通信系统进行实时性仿真,本文在一个混合业务环境下分析使用该资源分配算法的网络性能.仿真模型如图 3 所示.采用 4 平台 32 信道典型模型,仿真区域由七个蜂窝小区组成,每个蜂窝呈六边形,大小相等,且所研究的七个小区均位于四个高空通信平台的覆盖内环区内.天线增益模式符合 ITU 规定的高空平台通信使用标准.假设移动用户在整个服务区内呈现均匀分布,且用户天线无偏差地指向其接入的高

空平台,各移动用户发射功率相同.传播环境服从自由空间链路损耗定律.从文献[12]选取 2 种典型业务,具体设置可以参考表 1 与表 2,业务 1 和业务 2 用户分别服从初始速度为 $[0, 20]$ m/s 和 $[0, 5]$ m/s 的均匀分布.在呼叫开始时,移动用户随机选取初始位置(均匀分布在仿真区域)和移动方向(均匀分布在 $[0, 360^\circ]$ 之间).移动用户的速度在整个持续时间内为常数.

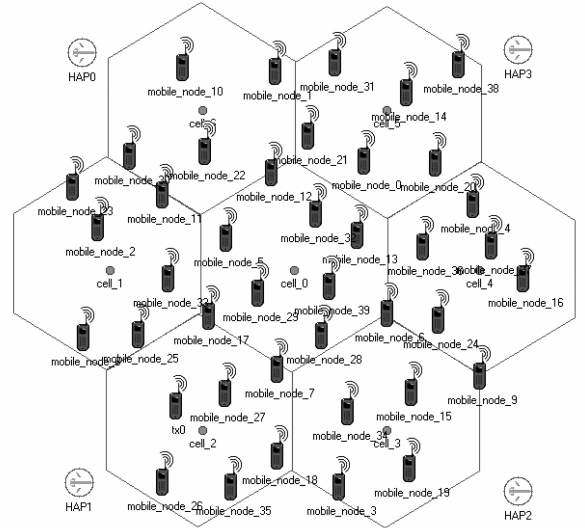


图3 HAPS通信仿真模型

表 1 业务分类

参数	业务 1	业务 2
信息比特率	12.2kbps	64kbps
E_b/N_0 需求最小值	5dB	2dB
功率因子	0dB	4.2dB
典型应用	语音	交互数据

表 2 仿真参数

参数	业务 1	业务 2
到达新呼叫比例	75%	25%
平均呼叫服务持续时间	120s	500s
用户最小速度	0m/s	0m/s
用户最大速度	20m/s	5m/s

4.2 性能比较

下面通过仿真对比了文献[10]提出的 HAPS 通信随机资源分配算法与文献[11]提出了 HAPS 通信最差可接受信道分配算法.图 4,图 5,图 6 和图 7 分别为三种信道资源分配算法下业务 1 和业务 2 的新呼叫阻塞概率、掉线概率与本文所研究的单小区内移动用户数的关系曲线.从图 4,图 5,图 6 和图 7 可以看出,在具有相同接入移动用户数的情况下,信道分配算法的选取对网络的性能指标具有很大影响.采用最差可接受信道分配算法的新呼叫阻塞概率和强制中断概率明显高于其他两种方案;而随机资源分配算法下的两种性能指标也高于距离优先分配算法.由于最差可接受信道

分配算法是按照将移动用户划分在通信区域内的方法进行信道分配的,对于出现通信局部热点的情况,系统的灵活性较差,会使网络的整体性能受到影响,因此新呼叫阻塞概率和强制中断概率最大.距离优先分配算法是实时地统计各高空平台信道 E_b/N_0 值,选取性能最好的信道接入,在这种情况下,对于我们所研究的四高空平台通信系统能够保证各高空平台的接入用户数基本相等,避免出现某一个或几个高空平台有较多的移动用户争用信道资源,而其他高空平台信道空闲的情况.所以,系统的阻塞性能最佳.随机资源分配算法在低负载情况下的阻塞性能与距离优先分配算法相似,而在高负载情况下的阻塞性能明显升高,逐渐趋近于最差可接受信道分配算法下的性能.

从图 4,图 5,图 6 和图 7 还可以看出系统的强制中断概率要明显小于新呼叫阻塞概率,且随着用户数的

增加,新呼叫阻塞概率不断升高,但强制中断概率的变化趋势并不明显.而强制中断概率与新呼叫阻塞概率相比,强制中断概率往往在系统性能指标方面更加重要,另一方面,比较图 4,图 5,图 6 和图 7,由于业务 1 的实时性要求更高,因此网络为该业务的用户设定了更低的接入门限,使得在相同接入用户数情况下,该级业务的新呼叫阻塞概率和掉线概率均小于业务 2.

图 8 和图 9 为服务等级 GoS 随网络用户数量变化的曲线.同样的,资源分配算法的选择对服务质量性能的影响很大.在 GoS 指标的比较上,三种算法的排序为最差可接受信道分配算法 > 随机资源分配算法 > 距离优先判决分配算法. GoS 值越高,则服务等级越差.因此,距离优先分配算法整体性能最高,即该算法能够在阻塞概率稍微增加的情况下解决系统连接中断问题,有效地提高了系统的整体性能.

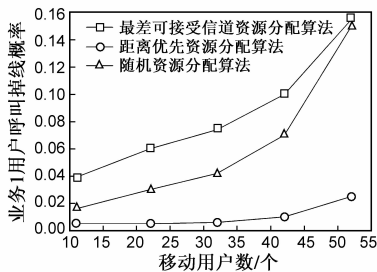


图4 业务1用户呼叫掉线率与单小区用户数的关系

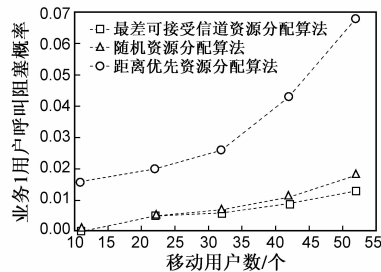


图5 业务1用户呼叫阻塞率与单小区用户数的关系

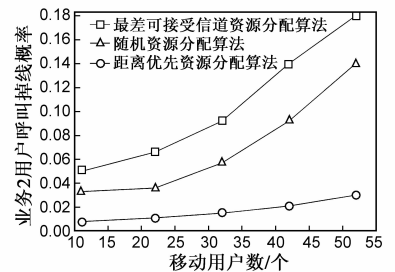


图6 业务2用户呼叫掉线率与单小区用户数的关系

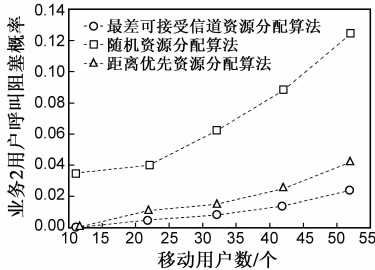


图7 业务2用户呼叫阻塞率与单小区用户数的关系

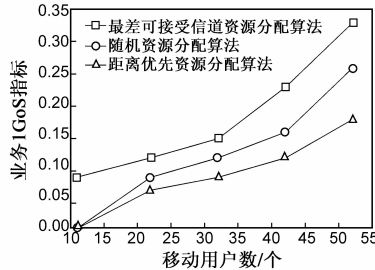


图8 业务1的GoS与单小区用户数的关系

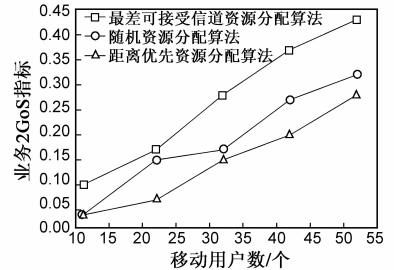


图9 业务2的GoS与单小区用户数的关系

5 结论

本文提出一种基于距离判决的 HAPS 通信的动态信道分配算法,高效、合理地分配各类型的业务连接,在保障各类业务服务质量的同时,使高空平台通信的资源利用率达到最佳.通过仿真比较在移动用户数量的不断增加情况下采用随机资源分配算法、最差可接受信道分配算法以及距离优先判决分配算法的网络性能.本文提出的距离判决动态信道分配算法能合理的处理 HAPS 通信信道申请与分配,该算法能够在阻塞概率稍微增加的情况下解决系统连接中断问题,有效地提高了系统的整体性能.

参考文献

- [1] Tozer, Tim, Smith, Alan. High altitude platforms and Milsatcom for future capacity requirements [A]. Proceedings of IET Seminar on Milsatcoms [C]. London: IET Press, 2010. 1 - 26.
- [2] Yiming Liu, Grace D, Mitchell, P D. Exploiting platform diversity for GoS improvement for users with different high altitude platform availability [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(1): 196 - 203.
- [3] 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)
- [4] A K Widiawan, R Tafazolli. Analytical investigation on sharing band overlaid high altitude platform station terrestrial CDMA system [J]. IEEE Electronics Letters, 2005, 41(2): 77 - 79.
- [5] Ezanuddin A A M, Malek M F, Soh P J. Metamaterial entrenched circular microstrip antenna for Malaysia HAPS [A]. Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility [C]. Malaysia; IEEE Press, 2010. 102 - 105.
- [6] Guan Mingxiang, Yuan Fang, Guo Qing. Performance of coverage and wireless link for HAPS communication [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Wireless Communications and Signal Processing [C]. USA; IEEE Press, 2009. 681 - 684.
- [7] Yang Z, Mohammed A. Wireless communications from high altitude platforms: Applications, deployment and development [A]. Proceedings of IEEE 12th International Conference on Communication Technology [C]. USA; IEEE Press, 2010. 1476 - 1479.
- [8] Grace D, Spillard C, Thornton J, Tozer T C. Channel assignment strategies for a high altitude platform spot-beam architecture [A]. Proceedings of IEEE 13th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications [C]. Vancouver, Canada, 2002, 1586 - 1590.
- [9] Pace P, Natalizio E. Dynamic fair power sharing admission control for HAP-UMTS communication system [A]. Proceedings of the 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit [C]. USA; IEEE Press, 2007. 1 - 5.
- [10] Y Foo, W Lim, R Tafazolli. Centralized downlink call admission control for high altitudes platform station UMTS with on-board power resource sharing [A]. Proceedings of the IEEE 56th Vehicular Technology Conference [C]. Vancouver, Canada, 2002. 549 - 553.
- [11] Pace P, Aloï G, De Rango F. An integrated satellite-HAP-terrestrial system architecture: resources allocation and traffic management issues [A]. Proceedings of IEEE 59th Vehicular Technology Conference [C]. USA; IEEE Press, 2004. 2872 - 2875.

[12] S Karapantazis, F N Pavlidou. The role of high altitude platforms in beyond 3G networks [J]. IEEE Personal Communications, 2005, 12(6): 33 - 41.

[13] S Karapantazis, F N Pavlidou. The role of high altitude platforms in beyond 3G networks [J]. IEEE Personal Communications, 2005, 12(6): 33 - 41.

作者简介



管明祥 男, 1979年5月生于湖北公安县. 深圳信息职业技术学院电子通信技术系通信技术专业教研室主任、讲师、博士. 主要从事无线通信、HAPS通信、物联网理论及应用等研究.

E-mail: gmx2020@126.com



郭庆 男, 1964年2月生于黑龙江哈尔滨市. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院通信工程系副主任、教授、博导. 主要从事卫星通信测控、数据通信和无线通信传输等研究.



顾学迈 男, 1957年10月生于黑龙江哈尔滨市. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院副院长、教授、博导. 主要从事指挥控制系统信息传输、微小卫星测控和军事通信网络技术研究.