



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113242566 A

(43) 申请公布日 2021.08.10

(21) 申请号 202110381913.2

(22) 申请日 2021.04.09

(71) 申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

(72) 发明人 张鸿涛 陈雨晴 唐文斐 刘江徽

(51) Int.Cl.

H04W 16/26 (2009.01)

H04W 16/28 (2009.01)

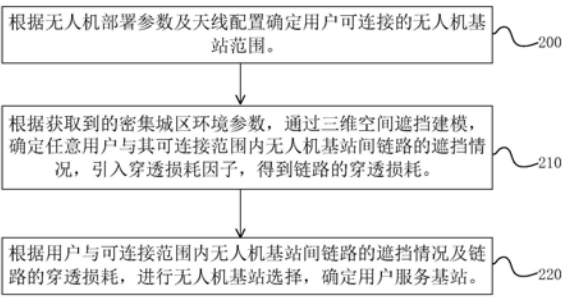
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种遮挡效应下无人机基站选择方法

(57) 摘要

本发明研究和讨论了密集城区下建筑物的遮挡问题,提出了一种遮挡效应下无人机基站选择方法,该方法考虑了波束穿透一次建筑物后仍具有一定能量,即穿透损耗因子不为零的情况,根据密集城区环境参数及穿透损耗因子,确定用户与可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况及链路的穿透损耗。用户选择可连接范围内最近的未被建筑物遮挡的无人机基站作为服务无人机基站,当不存在未被建筑物遮挡无人机基站时,选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站。在单个无人机基站的覆盖范围较小时,即无人机天线角度较小时,基于提出的考虑遮挡效应的无人机基站选择方法,考虑被建筑物遮挡的无人机基站对用户的服务将有效地提高覆盖率。



1. 一种遮挡效应下无人机基站选择方法,其特征在于,包括:宽波束无人机基站在密集城区中部署,单个无人机基站的覆盖范围有限,用户可连接无人机基站的范围根据无人机基站部署高度和波束宽度决定;获取密集城区环境参数,引入穿透损耗因子,为信号通过建筑物后的功率损耗比例,根据城区建筑物分布参数建立三维空间建筑物阻塞模型,根据阻塞模型和穿透损耗因子确定穿透损耗;根据用户的可连接范围内是否存在LOS径的无人机基站,用户分别选择最近的LOS无人机基站服务或最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,宽波束无人机基站部署在密集城区中距离地面高度 h 处,天线角度设置为 θ ,考虑无人机的天线角度对波束增益的影响,认为无人机基站只能给在波束覆盖范围内的用户提供服务,在波束覆盖范围外的信号强度几乎为零,则用户可连接的宽波束无人机基站最远距离为 $h \tan \theta$ 。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,获取密集城区环境参数,包括建筑物位置分布、高度分布、平均长宽、密度,建立三维空间建筑物阻塞模型,得到无人机基站和用户三维空间连线上阻塞建筑物数量 K' 的分布,表达式为:

$$P_{\{K'=k\}} = \frac{[\eta(\beta R + p/4)]}{k!} e^{-\eta(\beta R + p/4)},$$

其中, R 为用户到无人机基站水平投影的距离, p 为由建筑物密度 λ 得到的归一化城市密度, β 为与建筑物平均长宽及建筑物密度相关的参数, η 为三维空间的建筑物阻塞概率,计算式为:

$$\eta = 1 - \int_0^R \int_0^{(1-\frac{y}{R})h} f_H(h'_b) dh'_b \frac{1}{R} dy,$$

其中, $f_H(h'_b)$ 为建筑物的高度分布函数。

4. 根据权利要求1和3所述的方法,其特征在于,引入穿透损耗因子 γ ,根据阻塞建筑物数量分布确定用户和无人机基站链路的穿透损耗 S ,其计算式为:

$$S = \gamma^{K'},$$

用户的有用信号和干扰信号均需考虑建筑物阻塞的影响。

5. 根据权利要求1、2和4所述的方法,其特征在于,用户由于建筑物遮挡导致链路状态存在两种情况,相应地,考虑遮挡效应的无人机基站选择方案包括:

当用户的可连接范围 $h \tan \theta$ 内存在LOS径的无人机基站时,用户由LOS径的无人机基站波束服务,即有用信号不存在穿透损耗,用户选取RSRP最大的无人机基站作为其服务基站,此时用户由最近的LOS无人机基站服务,可连接范围内其余无人机基站为干扰基站;

当用户的可连接范围 $h \tan \theta$ 内不存在LOS径的无人机基站时,用户由NLOS径的无人机基站波束服务,即有用信号存在穿透损耗,信号经过两次及以上建筑物的穿透损耗巨大对用户的影响可以忽略不计,此时用户选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站。

一种遮挡效应下无人机基站选择方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信技术领域,特别涉及未来第五代移动通信(Beyond 5th Generation,B5G)和第六代移动通信(6th Generation,6G)中无人机基站通信。

背景技术

[0002] 面对未来移动数据流量爆炸性增长的需求,无人机通信作为B5G拓展通信空间的主要研究方向之一受到学术界和产业界的广泛关注。地面站点往往部署周期长、成本高,使得现有的地面站点部署方案并不适用于高动态业务场景(如具有大容量需求的补热场景和具有高覆盖需求的补盲场景等),无法实现由地面移动用户的时空分布按需求接入站点的目标。由于无人机具有低成本、可快速部署、广覆盖等特征,可以作为空中基站为地面用户提供通信服务,一方面可以提高传统蜂窝系统的服务质量,分流热点小区的业务,另一方面可以在灾害地区满足快速通信恢复的需求,作为地面基站通信的有效补充是未来移动通信的主要研究方向。

[0003] 在未来移动通信系统中,无人机作为基站进行无线通信服务是可以满足较高复杂度和动态的数据需求的技术。和现有的地面小区和卫星通信相比,无人机基站通信具有如下优势:较好的移动性使得可以按需快速部署站点,由于与地面用户和宏站之间的链路多为视距(line-of-sight,L0S)径使得数据传输的容量提升。无人机基站通信多用于补盲、补热场景,即为没有部署地面基站和传统通信中断后的地区提供服务,或者用户密集地区提供良好的链路性能和容量提升。此外,无人机基站利用波束服务用户可以有效提高链路质量和用户容量。

[0004] 由于无人机基站常用于补热场景并且地面移动用户在城区场景分布密集,基于实际的宽波束模型,无人机基站的波束俯仰角度和部署高度将直接影响无人机基站的波束覆盖范围。此外,在城区环境下分析无人机信道条件变化时需要考虑建筑物的遮挡效应及其带来的穿透损耗。

发明内容

[0005] 本发明研究和讨论了密集城区下建筑物的遮挡问题,提出了一种遮挡效应下无人机基站选择方法,该方法考虑了波束穿透一次建筑物后仍具有一定能量,即穿透损耗因子不为零的情况,用户选择可连接范围内最近的未被建筑物遮挡的无人机基站作为服务无人机基站,当不存在未被建筑物遮挡无人机基站时,选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站。

[0006] 本发明的考虑遮挡效应的无人机基站选择方法包括以下步骤:

[0007] 步骤200,根据无人机部署参数及天线配置确定用户可连接的无人机基站范围。

[0008] 宽波束无人机基站部署在密集城区中距离地面高度 h 处,天线角度设置为 θ , $\theta \in (0, \pi/2)$,考虑无人机的天线角度对波束增益的影响,无人机基站波束增益 G 与波束方位角 φ 的关系表达式如下

$$[0009] \quad G = \begin{cases} \frac{G_0}{\varphi^2}, & -\theta \leq \varphi \leq \theta \\ g \approx 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

[0010] 其中,波束的旁瓣增益近似为0,则无人机基站只能给在波束覆盖范围内的用户提供服务,在波束覆盖范围外的信号强度几乎为零。因此,用户可连接的宽波束无人机基站的范围为以用户为圆心,半径为 $h \tan \theta$ 的圆形区域。

[0011] 步骤210,根据获取到的密集城区环境参数,通过三维空间遮挡建模,确定任意用户与其可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况,引入穿透损耗因子,得到链路的穿透损耗。

[0012] 根据阻塞建筑物数量分布确定用户和无人机基站链路的穿透损耗S,其计算式为:

$$[0013] \quad S = \gamma^{K'},$$

[0014] 其中, γ 为信号通过某个地区的建筑物后的功率损耗比例,即穿透损耗因子。用户的有用信号和干扰信号均需考虑建筑物阻塞的影响。对于具有多面墙壁的大型建筑物和通过建筑物穿透损耗更严重的毫米波波束场景,假设所有建筑物都是不可穿透的,则 $\gamma = 0$ 。本发明研究宽波束的波束模型,在城区环境下建筑物将对无人机基站波束造成阻挡,建筑物的穿透损耗较小,但仍会对用户造成影响,即 $\gamma > 0$ 。

[0015] 用户的有用信号和干扰信号均需考虑建筑物的遮挡效应。

[0016] 上式中 K' 为无人机基站和用户三维空间连线上阻塞建筑物数量, K' 服从泊松分布,表达式为:

$$[0017] \quad P_{\{K'=k\}} = \frac{[\eta(\beta R + p/4)]}{k!} e^{-\eta(\beta R + p/4)},$$

[0018] 其中, R 为用户到无人机基站水平投影的距离; $p = \lambda E[L]E[W]$ 为由建筑物密度 λ 得到的归一化城市密度, $E[L]$ 和 $E[W]$ 分别为建筑物的平均长、宽,当地面无建筑物时 $p = 0$,当建筑物完全覆盖地面时 $p = 1$; β 与建筑物平均长宽及建筑物密度相关,表示为:

$$[0019] \quad \beta = \frac{\lambda(E[L] + E[W])}{\pi};$$

[0020] η 为三维空间的建筑物阻塞概率,计算式为:

$$[0021] \quad \eta = 1 - \int_0^R \int_0^{(1-\frac{y}{R})h} f_H(h'_b) dh'_b \frac{1}{R} dy,$$

[0022] 其中,积分上限 $(1-\frac{y}{R})h$ 为用户和无人机基站水平投影连线上对应位置处的建筑恰好阻塞用户与该无人机基站信道的高度。对建筑物的高度分布函数 $f_H(h'_b)$ 从地面到 $(1-\frac{y}{R})h$ 高度处进行积分,即得到在二维空间建筑物阻塞用户和无人机基站水平投影连线但三维空间无法阻塞用户与该无人机基站信道的概率,进而得到三维空间的建筑物阻塞概率 η 。

[0023] 其中,建筑物的高度分布函数 $f_H(h'_b)$ 表达式如下,考虑其服从以建筑物平均高度为特征值的瑞利分布,

$$[0024] \quad f_H(h'_b) = \frac{h'_b}{\delta^2} \cdot \exp\left(-\frac{h'^2_b}{2\delta^2}\right),$$

[0025] 其中, $\delta = h_b / \sqrt{\pi/2}$, h_b 为一定范围内建筑物的平均高度。

[0026] $P_{\{K'=0\}} = e^{-\eta(\beta x + p/4)}$ 对应信号不经历穿透损耗。当穿透损耗因子较大时, 认为 K' 大于1的概率较小, 且信号经过两次及以上建筑物的穿透损耗巨大对用户的影响可以忽略不计。

[0027] 步骤220, 根据上述确定的用户与其可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况及链路的穿透损耗, 进行无人机基站选择, 确定用户服务基站。考虑遮挡效应的无人机基站选择方法规则如下:

[0028] 当用户的可连接范围 $h \tan \theta$ 内存在LOS径的无人机基站时, 用户由LOS径的无人机基站波束服务, 即有用信号不存在穿透损耗。用户选取RSRP最大的无人机基站作为其服务基站, 此时用户由最近的LOS无人机基站服务, 可连接范围内其余无人机基站为干扰基站, 干扰基站可能包括LOS径和NLOS径的无人机基站或均为NLOS径的无人机基站。

[0029] 在这种情况下, $H \tan \theta$ 距离内存在无人机的波束没有被建筑物遮挡, 即服务无人机到该用户为LOS径的, 并且再用户离该服务无人机基站连线的水平投影 x 内, 其他无人机基站到用户的路径均存在建筑物遮挡, 由此得到概率密度函数表达式为:

$$[0030] \quad f_{x_1}(x) = 2\pi\mu x e^{-[\eta(\beta x + p/4) + 2\pi\mu U(x)]},$$

[0031] 其中, μ 为无人机基站部署密度, $U(x)$ 的表达式为:

$$[0032] \quad U(x) = \frac{e^{-\eta p/4}}{(\eta\beta)^2} \left[1 - (\eta\beta x + 1)e^{-\eta\beta x} \right].$$

[0033] 当用户的可连接范围 $h \tan \theta$ 内不存在LOS径的无人机基站时, 用户由非视距 (non-line-of-sight, NLOS) 径的无人机基站波束服务, 即有用信号存在穿透损耗。信号经过两次及以上建筑物的穿透损耗巨大对用户的影响可以忽略不计, 此时用户选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站, 可连接范围内其余无人机基站为干扰基站, 并且干扰基站均为NLOS径的无人机基站。

[0034] 在这种情况下, $H \tan \theta$ 距离内所有无人机的波束到该用户的路径均被建筑物遮挡, 选择距离最近的无人机作为该用户的服务无人机, 即服务无人机到该用户为NLOS径的, 则概率密度函数为

$$[0035] \quad f_{x_2}(x) = 2\pi\mu x e^{-\pi\mu x^2}.$$

[0036] 有益效果

[0037] 本发明针对密集城区建筑物对用户-无人机基站链路的遮挡导致用户接收到的无人机基站信号可能存在穿透损耗的情况, 提出了一种遮挡效应下无人机基站选择方法。基于已有的宽波束模型, 无人机基站的天线角度和部署高度将影响单个无人机基站的覆盖范围, 在城区环境下建筑物将对无人机基站波束造成阻挡, 而宽波束应用于无人机基站时建筑物的穿透损耗较小, 但仍会对用户造成影响, 因此当用户的可连接范围内不存在LOS径的无人机基站时, 用户选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站服务。

[0038] 考虑遮挡效应的无人机基站选择,存在LOS径无人机和被建筑物阻塞的无人机基站作为用户服务无人机基站两种情况。分析了用户为中心无人机基站网络在城区环境下的波束覆盖性能,在单个无人机基站的覆盖范围较小时,即无人机天线角度较小时,考虑被建筑物遮挡的无人机基站对用户的服务将有效地提高覆盖率。

附图说明

[0039] 图1是本发明的考虑遮挡效应的无人机基站网络场景图;

[0040] 图2是本发明的算法实施流程图;

[0041] 图3是本发明的考虑遮挡效应的无人机基站选择下,信号-干扰比 (Signal-to-Interference Ratio,SIR) 覆盖率随无人机天线角度的变化关系图;

[0042] 图4是本发明的不同穿透损耗情况下,SIR覆盖率随无人机/平均建筑物高度比的变化关系图。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图对本发明实施例作详细说明。

[0044] 本发明针对在密集城区存在建筑物遮挡的场景,提出了一种遮挡效应下无人机基站选择方法,网络模型图如附图1。考虑宽波束的实际覆盖模型,即无人机的天线角度对波束增益的影响,无人机基站只能给在波束覆盖范围内的用户提供服务,在波束覆盖范围外的信号强度几乎为零,因此单个无人机的覆盖范围将受无人机基站部署高度和天线角度的影响,相应地,用户可连接无人机基站的范围受无人机基站部署高度和天线角度的限制。

[0045] 获取密集城区环境参数,包括建筑物高度分布、平均长宽、密度,建立三维空间建筑物阻塞模型,得到无人机基站和用户三维空间连线上阻塞建筑物数量 K' 的分布。引入穿透损耗因子,根据阻塞建筑物数量分布确定用户和无人机基站链路的穿透损耗 S 。用户的有用信号和干扰信号均需考虑建筑物阻塞的影响。

[0046] 基于用户可连接的无人机基站范围内用户与无人机基站链路的不同遮挡情况,附图1中给出了两类用户:可连接无人机基站存在LOS径无人机的用户和可连接无人机基站不存在LOS径无人机的用户。对于如附图1所示的两类用户,分情况给出相应的无人机基站选择策略,包括:

[0047] 对于可连接无人机基站存在LOS径无人机的用户,用户可以由LOS径的无人机基站波束服务,即有用信号不存在穿透损耗。用户选取最近的LOS无人机基站作为服务基站。

[0048] 对于可连接无人机基站不存在LOS径无人机的用户,用户只能由NLOS径的无人机基站波束服务,即有用信号存在穿透损耗。信号经过两次及以上建筑物的穿透损耗巨大对用户的影响可以忽略不计,此时用户选择最近的被建筑物遮挡一次的无人机基站作为服务基站。

[0049] 本发明的算法流程如附图2所示,其具体的实施步骤为:

[0050] 步骤300,根据无人机部署参数及天线配置确定用户可连接的无人机基站范围。

[0051] 步骤310,根据获取到的密集城区环境参数,通过三维空间遮挡建模,确定任意用户与其可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况,引入穿透损耗因子,得到链路的穿透损耗。

[0052] 步骤320,根据上述确定的用户与其可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况及链路的穿透损耗,进行无人机基站选择,确定用户服务基站。

[0053] 仿真结果如附图3和附图4所示,研究了本发明的考虑遮挡效应的无人机基站选择方案下,网络的SIR覆盖率性能指标。其中SIR阈值设置为-5dB,天线角度取值范围为 $\theta \in (0, \pi/2)$,无人机挂高150m,建筑物平均高度为100m。此外图3中穿透损耗因子设置为0.1,图4中无人机基站密度设置为 $30/\text{km}^2$,城市密度 p 为0.4。基于上述仿真参数,图3和图4研究了网络SIR覆盖率与天线角度、无人机密度、穿透损耗因子、城市密度的变化关系。

[0054] 图3表明了不同无人机密度和城市密度下,宽波束无人机基站网络覆盖率随着无人机天线角度的变化关系。从图中可以看出:1)在无人机相关参数和建筑物相关参数确定时,无人机基站波束覆盖率随着无人机基站天线角度的变化先增大再减小。原因是在无人机部署高度确定时,无人机波束俯仰角度将成为影响单个无人机波束覆盖范围的唯一变量,随着波束俯仰角度的增大将有更多的用户处于无人机基站的波束覆盖范围内,而增加到一定界限并继续增加时,无人机之间的波束干扰增加使得用户的信干比降低,导致覆盖率的降低。因此,在城区场景下,当无人机基站密度和部署高度确定时,为了提高无人机群组波束覆盖率,需要调整无人机基站的天线角度到合适的角度。2)无人机密度 μ 影响最佳的无人机基站天线角度,无人机密度越小则达到最高覆盖率的无人机基站天线角度越大。原因是无人机密度较小时单个无人机需要更大的波束覆盖范围才能满足对所有用户的覆盖。3)城市密度提高将导致无人机网络覆盖率降低,而最优无人机天线角度在无人机密度较大时变化较小(如 $\mu = 120/\text{km}^2$),在无人机密度较小时随城市密度的提高减小得较为明显(如 $\mu = 30/\text{km}^2$)。原因是在无人机密度较大时覆盖率受城市密度的影响较小,其降低的幅度较小;而无人机密度较小时覆盖率受建筑物的影响较大,这也体现在了最优无人机天线角度上。当无人机天线角度增大到一定值后,继续增大天线角度将导致用户的信干比降低,城市密度增大将使得服务无人机信号覆盖受到影响,并且无人机基站之间的波束干扰减小,相比城市密度较小情况下,服务无人机信号受到影响更严重。

[0055] 图4描述了不同穿透损耗因子时本发明的无人机基站总覆盖率 P_c 和只考虑用户可连接无人机基站范围内存在LOS径无人机基站时的覆盖率 P_{c1} 随无人机天线角度的变化。从图中可以看出:1)穿透损耗因子影响分析: $\gamma = 0.1$ 时覆盖率高于 $\gamma = 0.5$ 时的覆盖率,在无人机密度足够覆盖限定城市区域后,穿透损耗因子的增大在提高单个无人机基站覆盖能力的同时,也增大了其他无人机基站的波束干扰,此时后者对覆盖率的影响导致了多数用户SIR值的降低从而使得覆盖率降低。2)总覆盖率 P_c 和只考虑用户可连接无人机基站范围内存在LOS径无人机基站时的覆盖率 P_{c1} 的对比分析:考虑了LOS径无人机和被建筑物阻塞的无人机作为用户服务无人机两种情况,在单个无人机基站的覆盖范围较小时,如图4 无人机天线角度较小时($\theta < 1\text{rad}$),考虑被建筑物遮挡的无人机基站对用户的服务将极大地提高覆盖率。3)与 $\gamma = 0$ 时覆盖率变化的对比分析:在单个无人机基站的覆盖范围较小时,如图4 无人机天线角度较小时($\theta < 0.8\text{rad}$),本发明,即穿透损耗不为0时,覆盖率远大于 $\gamma = 0$ 时覆盖率,但随着单个无人机基站覆盖范围的增大,本发明的覆盖率小于 $\gamma = 0$ 时覆盖率,并且 $\gamma = 0$ 时的覆盖率峰值可能高于 $\gamma > 0$ 时的覆盖率峰值。原因是在单个无人机的覆盖范围受限时,若被阻塞的无人机波束可以服务用户将极大的提高无人机基站网络覆盖率,但随着单个无人机基站覆盖范围的增大,无人机基站网络足够覆盖整个区域,并且将有其余无

人机服务之前被建筑物阻塞而无法得到无人机基站波束服务的用户； $\gamma = 0$ 时不存在被建筑物阻塞的无人机基站波束的干扰，使得在单个无人机基站覆盖范围足够大时覆盖率高于本章节的覆盖率并且覆盖率峰值可能较大。

[0056] 本技术领域中的普通技术人员应当认识到，以上实施例仅是用来说明本发明，而并非作为对本发明的限定，只要在本发明的范围内，对以上实施例的变化、变型都将落在本发明的保护范围。

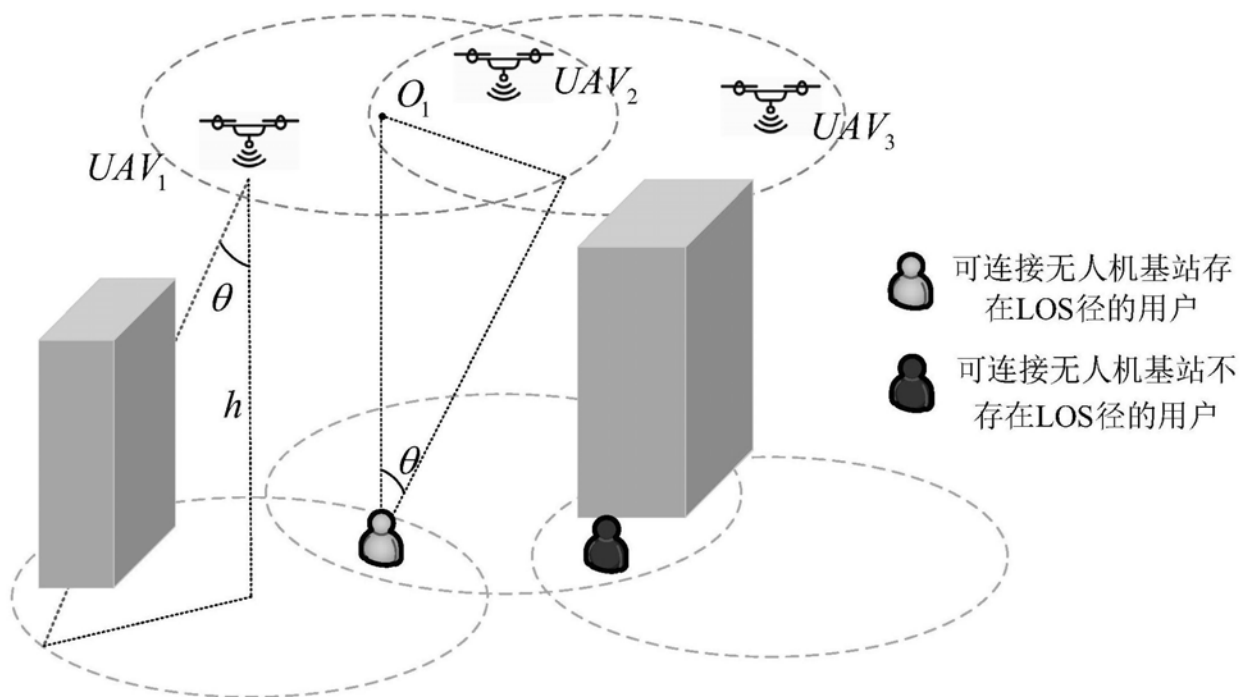


图1

根据无人机部署参数及天线配置确定用户可连接的无人机基站范围。

200

根据获取到的密集城区环境参数，通过三维空间遮挡建模，确定任意用户与其可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况，引入穿透损耗因子，得到链路的穿透损耗。

210

根据用户与可连接范围内无人机基站间链路的遮挡情况及链路的穿透损耗，进行无人机基站选择，确定用户服务基站。

220

图2

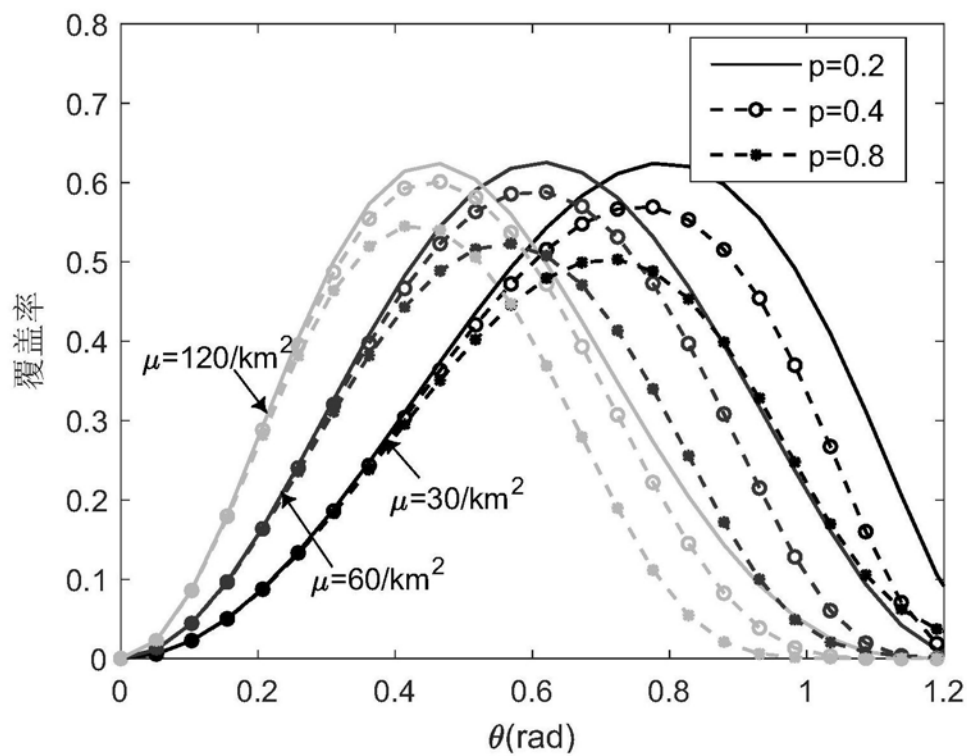


图3

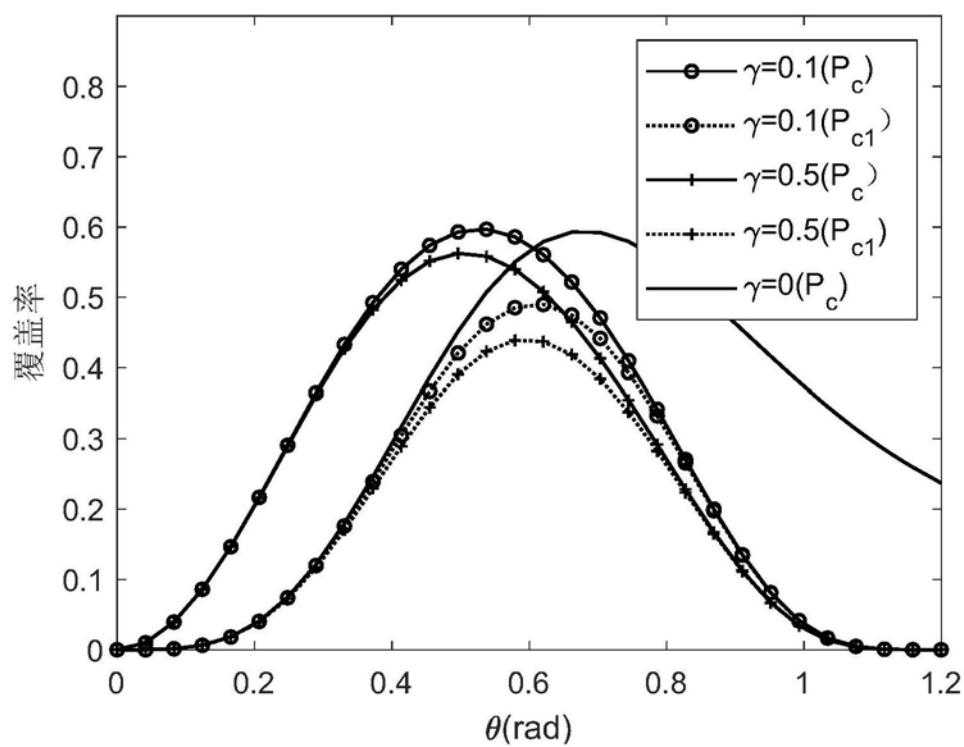


图4