

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 6 月 15 日 (15.06.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/096541 A1

- (51) 国际专利分类号:
H04W 40/22 (2009.01) H04W 64/00 (2009.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/096738
- (22) 国际申请日: 2015 年 12 月 8 日 (08.12.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 深圳大学 (SHENZHEN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国广东省深圳南山南海大道 3688 号信息工程学院 8 楼, 谢宁, Guangdong 518060 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人: 谢宁 (XIE, Ning) [CN/CN]; 中国广东省深圳南山南海大道 3688 号信息工程学院 8 楼, Guangdong 518060 (CN)。 陈敬坤 (CHEN, Jingkun) [CN/CN]; 中国广东省深圳南山南海大道 3688 号信息工程学院 8 楼, Guangdong 518060 (CN)。 王晖 (WANG, Hui) [CN/CN]; 中国广东省深圳南山南海大道 3688 号信息工程学院 8 楼, Guangdong 518060 (CN)。 林晓辉 (LIN, Xiaohui) [CN/CN]; 中国广东

省深圳南山南海大道 3688 号信息工程学院 8 楼, Guangdong 518060 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

[见续页]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SEEKING OPTIMAL RELAY POSITION OF MOBILE RELAY BASED ON FIXED STEP LENGTH

(54) 发明名称: 基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统

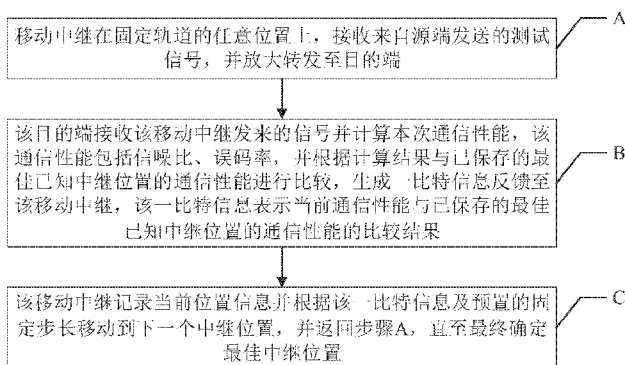


图 1

- A A mobile relay receiving a test signal sent from a source end at any position of a fixed track, amplifying same and forwarding same to a destination end
- B The destination end receiving the signal sent from the mobile relay and calculating the performance of the present communication, wherein the communication performance comprises a signal-to-noise ratio and a bit error rate, comparing a calculation result with communication performance of a saved optimal known relay position, and generating bit information to feed same back to the mobile relay, wherein the bit information represents a comparison result of the current communication performance and the communication performance of the saved optimal known relay position
- C The mobile relay recording current position information, moving to the next relay position according to the bit information and a pre-set fixed step length, and returning to step A until an optimal relay position is finally determined

(57) Abstract: Disclosed are a method and system for seeking an optimal relay position of a mobile relay based on a fixed step length. The method comprises: a mobile relay receiving a test signal sent by a source end, amplifying same, and then forwarding same to a destination end; the destination end calculating communication performance according to the amplified test signal, comparing same with communication performance of a saved optimal known position, and then generating bit information to feed back same to the mobile relay; and the mobile relay moving to the next relay position according to the bit information and a pre-set fixed step length, and re-executing the step of receiving the test signal sent by the source end until an optimal relay position is determined. By means of the method, the performance of relay communication can be improved, without the need to obtain position information about a source end and a destination end, multiple antennas are not required, only the destination end is required to feed bit information back to a mobile relay to seek control, and an optimal relay position point can still be determined within a predetermined trajectory range, which expands the range of applicability.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/096541 A1

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明公开了一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统，该方法包括：移动中继接收源端发送的测试信号，放大后转发给目的端，目的端根据放大的测试信号计算通信性能，并与保存的最佳已知位置的通信性能进行比较后生成一比特信息反馈给移动中继，移动中继根据这一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，再次执行接收源端发送的测试信号的步骤，直至确定最佳中继位置。该方法可提高中继通信的性能，且无需获得源端和目的端的位置信息，无需多天线，且只需要目的端反馈一比特信息给移动中继进行搜寻控制，依然可在预定轨迹范围内确定最佳中继位置点，扩大了适用范围。

基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统

技术领域

本发明涉及无线通信技术领域，尤其涉及一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统。

背景技术

通信中继可以用来转发不同的节点之间发出的信息，扩大了通信范围，提高了通信系统的性能。陆地无线电通信容易被障碍物遮挡和屏蔽，飞机、卫星及无人机（UVAs）可以充当通信中继，因为机载中继可以在崎岖的山区或者市区有效地为需要互相通信的双方建立起连接。

现有技术中，应用于无人机确定中继位置的方式主要有：利用全球定位系统（GPS，Global Positioning System）测量地面通信单元的位置信息，无人机利用 GPS 搜寻最佳中继位置，以及基于扰动的极值搜索控制算法、基于多载天线的算法等等。

但在以上现有技术中，存在一定的不足和缺陷，主要体现在：

1、地面通信单元需要利用自身的 GPS 功能测量自己的位置信息并把该信息发送给无人机，依赖 GPS 功能容易受到攻击和干扰而导致位置搜寻失败；

2、对于没有 GPS 功能或者 GPS 设备已损坏的地面通信单元，现有的一些技术无法使用，即现有的确定中继位置的技术使用受限；

3、使用机载多天线信号到达角（DOA，Direction of Arrival）进行估计来确定最佳中继位置，相对于单天线容易出现估计误差，同时也增加了无人机通信设备的复杂度和算法复杂度。

发明内容

本发明实施例提供了一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法

及系统，通过对比在不同位置的通信性能来确定移动中继的最佳中继位置，以提高确定移动中继最佳中继位置的效率和准确率，以及增加适用范围。

本发明实施例公开的一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法包括：

步骤 A，移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自源端发送的测试信号，并放大转发至目的端；

步骤 B，所述目的端接收所述移动中继发来的信号并计算本次通信性能，所述通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，并生成一比特信息反馈至所述移动中继，所述一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，所述最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置；

步骤 C，所述移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回步骤 A，直至最终确定最佳中继位置，所述最佳中继位置为：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，所述移动中继移动完整个所述固定轨道时通信性能最好的位置，或者，所述通信性能满足系统设定要求的位置。

本发明实施例公开的一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻系统包括：

移动中继、源端和目的端；

其中，所述移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自所述源端发送的测试信号，并放大转发至所述目的端；

所述目的端接收所述移动中继发来的信号并计算本次通信性能，所述通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，并生成一比特信息反馈至所述移动中继，所述一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，所述最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置；

所述移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回执行步骤移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自所述源端发送的测试信号，并放大转发至所述目的端，直至最终确定最佳中继位置，所述最佳中继位置为：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，所述移动中继移动完整个所述固定轨道时通信性能最好的位置，或者，所述通信性能满足系统设定要求的位置。

从以上技术方案可以看出，本发明实施例具有以下优点：通过利用固定的扰动步长及通信性能强度来搜寻移动中继的最佳中继位置，可提高中继通信的性能，而不需要依赖源端和目的端的位置信息，无需多天线，且只需目的端反馈一比特信息给移动中继控制其搜寻最佳中继位置，应用范围更广，适用性更强且受限小，提高确定最佳中继位置的效率和准确性。

附图说明

图 1 为本发明第一实施例中的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法的流程示意图；

图 2 为本发明实施例中移动中继中继通信模型示意图；

图 3a、3b 为本发明实施例中移动中继基于信噪比搜寻最佳中继位置的仿真图；

图 4a、4b 为本发明实施例中移动中继基于误码率搜寻最佳中继位置的仿真图；

图 5 为本发明第二实施例中的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻系统结构示意图。

具体实施方式

本发明实施例提供了一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统，配置单天线的移动中继根据通信性能强度及固定步长搜寻最佳中继位

置点，从而提高中继通信的性能，且无需获得地面的位置信息，依然可在预定轨迹范围内确定最佳中继位置点，扩大了适用范围。

本发明实施例适用于固定的中继运动轨道，应用场景可以是临时通信系统的搭建、灾害现场的通信连接等场景。

请参阅图 1，本发明第一实施例提供的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法，包括以下步骤：

步骤 A、移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自源端发送的测试信号，并放大转发至目的端。

该测试信号是用于测试通信性能的信号，它可以帮助移动中继搜寻到最佳中继位置，可以在该测试信号中携带用来测试通信性能的数据，且在移动中继搜寻到最佳中继位置之前，源端发送的都是测试信号，只有在移动中继找到最佳中继位置之后，源端才将发送真正有用的数据。

在第 n 时隙，源端发送测试信号给移动中继，移动中继在固定轨道的任意位置上接收源端发送的测试信号，并将该测试信号放大以及转发给目的端，使得该目的端将该测试信号的通信性能强度与保存的最佳已知位置的通信性能强度进行对比。

步骤 B、该目的端接收该移动中继发来的信号并计算本次通信性能，该通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，生成一比特信息反馈至该移动中继，该一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果。

该最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置。

在进行最佳中继位置搜寻前，移动中继先要初始化其位置信息，并接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，该目的端将计算该次通信性能，并将的计算结果保存为自己的初始记录。每个时隙，该源端都会发送测试信号给该移动中继，该移动中继将该测试信号放大后发送给该目的端，该目的端接收该移动中继发来的信号并计算该次通信性能，该通信性能包括信噪比（SNR，

Signal Noise Ratio)、误码率 (SER, Symbol Error Rate), 其中信噪比越大, 则表示通信性能越强, 而误码率越小, 表示通信性能越强, 该信号为该测试信号放大后得到的。

在第 n 时隙之前的所有测试信号中通信性能强度最大的位置即为该最佳已知位置, 该最佳已知位置的信息保存在该目的端中, 也保存在该移动中继中。

该目的端根据该信号计算出本次和移动中继的通信性能后, 根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较, 即, 比较出本次与该移动中继所在当前位置的通信性能与保存的最佳已知位置的通信性能的大小, 以此判断移动中继在当前位置的通信性能是否较之上次所在位置有了提升。目的端根据当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果, 更新内存中的最佳已知接收信号通信性能。

进一步地, 根据比较结果生成一比特信息, 将该一比特信息反馈至该移动中继, 该一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果, 即该一比特信息中包含该目的端接收信号性能是否提高的信息。例如, 可以预先设置比特信息 1 表示当前通信性能比最佳已知位置的通信性能有提高, 比特信息 0 表示信号的当前通信性能比最佳已知位置的通信性能有下降。在实际应用中, 还可以通过其他的形式设置比较结果, 此处不作限定。

具体地, 该一比特信息可以是该目的端接收到的该测试信号的信噪比与该目的端上已保存的最佳已知位置的信噪比的对比结果, 该最佳已知位置为在第 n 时隙之前已计算得到的所有测试信号的最大信噪比对应的位置。该一比特信息也可以是为该目的端接收到的该测试信号的误码率与该目的端上已保存的最佳已知位置的误码率的对比结果, 该最佳已知位置为在第 n 时隙之前已计算得到的所有测试信号的最小误码率对应的位置。

其中, 该源端和该目的端可以是各种类型的无线通信收发设备, 如: 手机、基站等。该移动中继使用机载单天线。

为了便于理解, 简单介绍下移动中继中继通信的场景, 请参阅图 2, 图 2 为

本发明实施例中移动中继中继通信模型示意图。

移动中继分别与源端、目的端通过无线网络连接。移动中继在柱坐标系上为点 R_i , R_i 在 XOY 平面上的投影为点 R' , 源端在柱坐标系的 xoy 平面上为点 S, 目的端在柱坐标系的 XOY 平面上为点 D。

具体地, 柱坐标系的原点 O 的坐标变量是 $(0, 0, z)$, 源端 S 的坐标变量是 (x_s, y_s, z_s) , 目的端 D 的坐标变量是 (x_d, y_d, z_d) , 移动中继 R_i 的三个坐标变量是 (r, θ, z) , 其中 r 为移动中继在 XOY 平面上的运动半径, θ 为从正 z 轴来自 X 轴按逆时针方向转到 OR' 所转过的角, z 为移动中继的高度。以上柱坐标系的原点、 r 、 z 均是预先设定的, 从而也就确定了移动中继的运动轨迹, 即移动中继在图 2 中高度为 z 半径为 r 的圆周上移动。移动中继在第 n 时隙的坐标为 $R(r, \theta(n), z)$, 在第 $n+1$ 时隙的坐标为 $R(r, \theta(n+1), z)$ 。

柱坐标系 (r, θ, z) 与空间直角坐标系 (x, y, z) 的转换关系如下:

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \\ z = z \end{cases}$$

进一步地, 在第 n 时隙, 移动中继与源端 S 之间的通信距离 (即直线距离) d_1 、与目的端 D 之间的通信距离 d_2 分别为:

$$\begin{cases} d_1 = \sqrt{(r \cos \theta(n), r \sin \theta(n), z) - (x_s, y_s, z_s)} \\ d_2 = \sqrt{(r \cos \theta(n), r \sin \theta(n), z) - (x_d, y_d, z_d)} \end{cases}$$

下面以通信性能为信噪比时为例, 描述移动中继、源端和目的端的通信过程以及信噪比, 请仍参见图 2:

第一跳通信: 源端到移动中继;

源端发送给移动中继的信号:

$$y_R = x \sqrt{P_S} L_{S,R} + n_1 \quad (1)$$

$$E\left[|n_1|^2\right] = N_{01} \quad (2)$$

其中, x 表示源端发射的测试信号, P_S 表示源端的发射功率, $L_{S,R}$ 表示源端到移动中继的自由空间路径损耗, n_1 表示第一跳通信的加性高斯白噪声。E 表示求数学期望, N_{01} 表示加性高斯白噪声 n_1 的功率。

第一跳通信的自由空间路径损耗:

$$L_{S,R} = \frac{\lambda}{4\pi d_1} \quad (3)$$

其中, λ 表示源端发射测试信号的波长, d_1 表示源端与移动中继之间的距离。

信号在传输过程中有衰落, 还会受到噪声的干扰, 移动中继转发的信息中会包括经过了自由路径衰落的测试信号和高斯白噪声。

第二跳通信: 移动中继到目的端;

移动中继发送给目的端的信号:

$$\begin{aligned} y_D &= y_R G_{L_{R,D}} + n_2 \\ &= x \sqrt{P_S} G_{L_{S,R}} L_{R,D} + n_1 G_{L_{R,D}} + n_2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$E\left[|n_2|^2\right] = N_{02} \quad (5)$$

其中, x 表示测试信号, P_S 表示源端的发射功率, $L_{S,R}$ 表示源端到移动中继的自由路径损耗, $L_{R,D}$ 表示源端到移动中继的自由路径损耗, G 表示移动中继给接收到的测试信号的增益, 即中继增益, n_2 表示第二跳通信的加性高斯白噪声。E 表示求数学期望, N_{02} 表示加性高斯白噪声 n_2 的功率。

第二跳信道的自由空间路径损耗:

$$L_{R,D} = \frac{\lambda}{4\pi d_2} \quad (6)$$

其中, λ 表示移动中继发射的经过放大的测试信号的波长, d_2 表示目的端与

移动中继之间的距离。

移动中继给接收到的测试信号的增益为：

$$G = \sqrt{\frac{P_R}{P_S |L_{S,R}|^2}} \quad (7)$$

由公式 (4) 得源端发送的该测试信号在目的端接收后的信噪比 SNR 为：

$$\begin{aligned} SNR &= \frac{P_S G^2 |L_{S,R}|^2 |L_{R,D}|^2}{N_{01} G^2 |L_{R,D}|^2 + N_{02}} \\ &= \frac{SNR_1 SNR_2}{SNR_1 + SNR_2} \end{aligned} \quad (8)$$

其中， SNR_1 、 SNR_2 如下：

$$SNR_1 = \frac{P_S |L_{S,R}|^2}{N_{01}} \quad (9)$$

$$SNR_2 = \frac{P_R |L_{R,D}|^2}{N_{02}}$$

公式 (7)、(8)、(9) 中的参数含义参见前述的描述，此处不再赘述。

步骤 C、该移动中继记录当前位置信息，并根据该一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回步骤 A，直至最终确定最佳中继位置。

具体地，若该一比特信息表示当前通信性能大于该最佳已知中继位置的通信性能，则将当前位置记录为最佳已知位置，并随机移动一个固定步长以确定及移动到下一个中继位置，随机增加是指随机选取正负符号进行增加。

若该一比特信息表示当前通信性能小于该最佳已知中继位置的通信性能，

则该移动中继先返回到上一次的位置，再随机增加一个固定步长以确定及移动到下一个中继位置，并返回步骤 A，直至最终确定最佳中继位置。

每个迭代时隙随机增加一个具有固定值的扰动步长：

$$\delta(n) = \pm \delta_0$$

其中， δ_0 为固定步长， n 表示时隙数，每增加一个时隙， $\delta(n)$ 便增加一个 δ_0 。当 $\delta(n) = \delta_0$ 时，表示移动中继逆时针方向移动一个 δ_0 ，当 $\delta(n) = -\delta_0$ 时，表示移动中继顺时针方向移动一个 δ_0 。

需要说明的是，移动中继的移动方向也可以做相反设置，即，当 $\delta(n) = \delta_0$ 时，表示移动中继顺时针方向移动一个 δ_0 ，当 $\delta(n) = -\delta_0$ 时，表示移动中继逆时针方向移动一个 δ_0 。

移动中继记录其当前位置，以当前位置为最佳已知中继位置，该最佳已知中继位置用 $\theta(n)$ 表示， n 表示时隙数。移动中继根据固定步长计算下一位置并移动到下一位置，以 $\varphi(n)$ 表示下一位置，以 $\delta(n)$ 表示随机增加步长，则： $\varphi(n) = \theta(n) + \delta(n)$ 。

进一步地，该移动中继根据该一比特信息中的该目的端接收信号性能是否提高的信息，以及预置的固定步长确定下一个中继位置。移动中继对该一比特信息进行判断，判断为目的端接收移动中继的信号性能提高时，即当前通信性能比已保存的最佳已知中继位置的通信性能更高时，将当前位置记录为最佳已知位置 $\theta(n+1) = \theta(n) + \delta(n)$ ，判断为目的端接收移动中继的信号性能未提高时，即当前通信性能比已保存的最佳已知中继位置的通信性能更差时，则移动中继返回上一时隙的位置 $\theta(n+1) = \theta(n)$ ，返回步骤 A。

该最佳中继位置包括：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，该移动中继移动完整个该固定轨道时通信性能最好的位置，或者，该通信性能满足系统设定要求的位置。即，通过设置移动中继的搜寻时长、搜寻路程、通信性能强度中的任一个参数来确定该最佳中继位置。

若该下一个中继位置不是该最佳中继位置，则须再次执行步骤 A：移动中

继在固定轨道的任意位置上，接收来自源端发送的测试信号，并放大转发至目的端，这样在步骤 A 至步骤 C 之间循环执行，直至搜寻到最佳中继位置。即搜索信号的通信性能强度最大的中继位置，当确定最佳中继位置之后，便停止上述循环搜索过程。

具体地，当通信性能为信噪比时，若该对比结果为本次通信的信噪比大于该最佳已知位置的信噪比，则表示当前位置的通信状况更好，更适宜作中继位置，因此，该移动中继将当前位置记录为最佳已知位置，并随机移动一个该固定步长的距离以确定及移动到下一个中继位置。

并且，该移动中继更新最佳接收信号的信噪比，更新规则为：

$$SNR_{best}(n+1) = \max(SNR_{best}(n), SNR(n))$$

其中， SNR_{best} 为第 $n+1$ 时隙最佳接收信号的信噪比， $\max(SNR_{best}(n), SNR(n))$ 表示第 n 时隙最佳已知位置的信噪比和当前位置的信噪比的最大值，该最大值即为 SNR_{best} 。

同时，该移动中继将当前位置更新为最佳已知位置，更新规则如下：

$$\theta(n+1) = \begin{cases} \theta(n) + \delta(n) & SNR(n) > SNR_{best}(n) \\ \theta(n) & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

该对比结果为本次通信的信噪比小于该最佳已知位置的信噪比，则表示当前位置的通信状况不理想，没有该最佳已知位置更适宜作中继位置，因此，该移动中继将返回到其上一次所在的位置，并随机移动一个该固定步长的距离以确定及移动到下一个中继位置。

当通信性能为误码率时，若该对比结果为该测试信号的误码率小于该最佳已知位置的误码率，则表示当前位置的通信状况更好，更适宜作中继位置，因此，该移动中继将当前位置记录为最佳已知位置，并随机移动一个该固定步长的距离以确定及移动到下一个中继位置。

若该对比结果为该测试信号的误码率大于该最佳已知位置的误码率，则表示当前位置的通信状况不理想，没有该最佳已知位置更适宜作中继位置，因此，

该移动中继将返回到上一次的位置，并随机移动一个该固定步长的距离以确定及移动到下一个中继位置。

进一步地，若该对比结果为计算得到的该测试信号的信噪比大于该最佳已知位置的信噪比，或者，若该对比结果为计算得到的该测试信号的误码率小于该最佳已知位置的信噪比，则将该移动中继的当前位置更新为该最佳已知位置，并对应更新该测试信号的信噪比或误码率。

本发明实施例中，通过利用固定的扰动步长及通信性能强度来搜寻移动中继的最佳中继位置，可提高中继通信的性能，而不需要依赖源端和目的端的位置信息，无需多天线，且只需目的端反馈一比特信息给移动中继控制其搜寻最佳中继位置，应用范围更广，适用性更强且受限小，提高确定最佳中继位置的效率和准确性。

在本发明以上基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法的实施例中，通过信噪比搜寻移动中继的最佳中继位置仿真图如图 3a、3b 所示，通过误码率搜寻移动中继的最佳中继位置仿真图如图 4a、4b 所示：

其中，初始步长： $\delta(1) = \frac{\pi}{16}$

源端的位置坐标： $(x_s, y_s, z_s) = (0, -700, 1)$

目的端的位置坐标： $(x_d, y_d, z_d) = (30, -600, 1)$

移动中继的位置坐标： $(r, \theta(n), z) = (500, \theta(n), 30)$

图 3a 和图 3b 以信噪比为基准表示通信性能强度，即公式 (8)，图 3a 横轴表示 $\theta(n)$ ，纵轴表示与 $\theta(n)$ 相对应的该中继位置的源端到目的端的信噪比 SNR。图 3b 横轴表示移动中继搜寻最佳中继位置过程中花费的时隙数，纵轴表示源端到目的端的信噪比。在搜寻到第 35 个时隙时，确定最佳中继位置，即图 3a 中的极大值点对应的位置。

图 4a 和图 4b 以误码率为基准表示通信性能强度，图 4a 横轴表示 $\theta(n)$ ，纵轴表示与 $\theta(n)$ 相对应的该中继位置的源端到目的端的误码率 BER。图 4b 横轴

表示移动中继搜寻最佳中继位置过程中花费的时隙数，纵轴表示源端到目的端的误码率。在搜寻到第 35 个时隙时，确定最佳中继位置，即图 4a 中的极小值点对应的位置。

请参阅图 5，图 5 是本发明第二实施例提供的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻系统的结构示意图，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分。该系统主要包括：移动中继 501、源端 502 以及目的端 503。

其中，移动中继 501 在固定轨道的任意位置上，接收来自源端 502 发送的测试信号，并放大转发至目的端 503。

目的端 503 接收移动中继 501 发来的信号并计算本次通信性能，该通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，并生成一比特信息反馈至移动中继 501，该一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，该最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置。

移动中继 501 记录当前位置信息并根据该一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回执行步骤移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自该源端发送的测试信号，并放大转发至所述目的端，不断循环，直至最终确定最佳中继位置。该最佳中继位置为：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，移动中继 501 移动完整个该固定轨道时通信性能最好的位置，或者，该通信性能满足系统设定要求的位置。

进一步地，移动中继 501 在进行最佳中继位置搜寻前，初始化其位置信息，并接收来自源端 502 发射的该测试信号并放大转发至目的端 503。

进一步地，若该一比特信息表示当前通信性能大于该最佳已知中继位置的通信性能，则将移动中继 501 当前位置记录为最佳已知位置，并随机移动一个该固定步长以确定及移动到该下一个中继位置。若该一比特信息表示当前通信性能小于该最佳已知中继位置的通信性能，则移动中继移动中继 501 先返回到上一次的位置，再随机移动一个固定步长以确定及移动到下一个中继位置。

本实施例中的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻系统的移动中继、源端、目的端实现各自功能的具体过程，请参见上述图 1 所示实施例中描述的具体内容，此处不再赘述。

本发明实施例中，通过利用固定的扰动步长及通信性能强度来搜寻移动中继的最佳中继位置，可提高中继通信的性能，而不需要依赖源端和目的端的位置信息，无需多天线，且只需目的端反馈一比特信息给移动中继控制其搜寻最佳中继位置，应用范围更广，适用性更强且受限小，提高确定最佳中继位置的效率和准确性。

本领域技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分步骤是可以通过程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详述的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

以上对本发明所提供的基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法及系统进行了详细介绍，对于本领域的技术人员，依据本发明实施例的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻方法，其特征在于，所述搜寻方法步骤包括：

步骤 A，移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自源端发送的测试信号，并放大转发至目的端；

步骤 B，所述目的端接收所述移动中继发来的信号并计算本次通信性能，所述通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，并生成一比特信息反馈至所述移动中继，所述一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，所述最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置；

步骤 C，所述移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回步骤 A，直至最终确定最佳中继位置，所述最佳中继位置为：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，所述移动中继移动完整个所述固定轨道时通信性能最好的位置，或者，所述通信性能满足系统设定要求的位置。

2、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，所述方法还包括：

以 y_R 表示所述移动中继接收到的所述测试信号，则：

$y_R = x\sqrt{P_S}L_{S,R} + n_1$ ，其中 x 表示源端发射的测试信号， P_S 表示源端发射功率， $L_{S,R}$ 表示所述源端到所述移动中继的第一跳通信的自由空间路径损耗， n_1 表示所述第一跳通信的加性高斯白噪声；

在进行最佳中继位置搜寻前，所述移动中继初始化其位置信息，并接收来自所述源端发射的所述测试信号并放大转发至所述目的端；

所述目的端计算通信性能，并将计算结果保存为初始记录。

3、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，所述方法还包括：

以 y_D 表示目的端接收到的信号，则：

$y_D = y_R GL_{R,D} + n_2$ ，其中 y_R 表示移动中继接收的信号， G 表示中继增益， $L_{R,D}$ 表示所述移动中继到所述目的端的第二跳通信的自由空间路径损耗， n_2 表示所

述第二条跳通信的加性高斯白噪声。

4、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，所述步骤 C 中，移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长确定移动到下一个中继位置，包括：

若所述一比特信息表示当前通信性能大于所述最佳已知中继位置的通信性能，则将当前位置记录为最佳已知位置，并随机增加一个所述固定步长以确定及移动到所述下一个中继位置，所述随机增加是指随机选取正负符号进行增加；

若所述一比特信息表示当前通信性能小于所述最佳已知中继位置的通信性能，则所述移动中继先返回到上一次的位置，再随机增加一个所述固定步长以确定及移动到下一个中继位置。

5、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，所述步骤 C 中，移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，包括：

步骤 C1，所述移动中继记录其当前位置 $\varphi(n)$ ， n 表示时隙数；

步骤 C2，所述移动中继根据所述固定步长计算下一位置并移动到所述下一位置，以 $\varphi(n)$ 表示所述下一位置，以 $\delta(n) = \pm\delta_0$ 表示随机增加步长， δ_0 表示所述固定步长，则： $\varphi(n) = \theta(n) + \delta(n)$ ， $\theta(n)$ 表示最佳已知中继位置。

6、如权利要求 5 所述的搜寻方法，其特征在于，所述步骤 B 还包括：

所述目的端根据当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，更新内存中的最佳已知接收信号通信性能。

7、如权利要求 6 所述的搜寻方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述移动中继对所述一比特信息进行判断；

当判断为接收信号性能提高时，将当前位置记录为最佳已知位置 $\theta(n+1) = \theta(n) + \delta(n)$ ，当判断为接收信号性能未提高时，则返回上一时隙的位置， $\theta(n+1) = \theta(n)$ ，并返回步骤 A。

8、一种基于固定步长的移动中继最佳中继位置搜寻系统，其特征在于，所

述搜寻系统包括移动中继、源端和目的端；

其中，所述移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自所述源端发送的测试信号，并放大转发至所述目的端；

所述目的端接收所述移动中继发来的信号并计算本次通信性能，所述通信性能包括信噪比、误码率，并根据计算结果与已保存的最佳已知中继位置的通信性能进行比较，并生成一比特信息反馈至所述移动中继，所述一比特信息表示当前通信性能与已保存的最佳已知中继位置的通信性能的比较结果，所述最佳已知中继位置为已测试的通信性能最好的位置；

所述移动中继记录当前位置信息并根据所述一比特信息及预置的固定步长移动到下一个中继位置，并返回执行步骤移动中继在固定轨道的任意位置上，接收来自所述源端发送的测试信号，并放大转发至所述目的端，直至最终确定最佳中继位置，所述最佳中继位置为：在预设的搜寻时长内通信性能最好的位置，或者，所述移动中继移动完整个所述固定轨道时通信性能最好的位置，或者，所述通信性能满足系统设定要求的位置。

9、根据权利要求8所述的搜寻系统，其特征在于，

所述移动中继在进行最佳中继位置搜寻前，初始化其位置信息，并接收来自所述源端发射的所述测试信号并放大转发至所述目的端。

10、根据权利要求8或9所述的搜寻系统，其特征在于，

若所述一比特信息表示当前通信性能大于所述最佳已知中继位置的通信性能，则所述移动中继将当前位置记录为最佳已知位置，并随机移动一个所述固定步长以确定及移动到所述下一个中继位置；

若所述一比特信息表示当前通信性能小于所述最佳已知中继位置的通信性能，则所述移动中继先返回到上一次的位置，再随机移动一个所述固定步长以确定及移动到下一个中继位置。

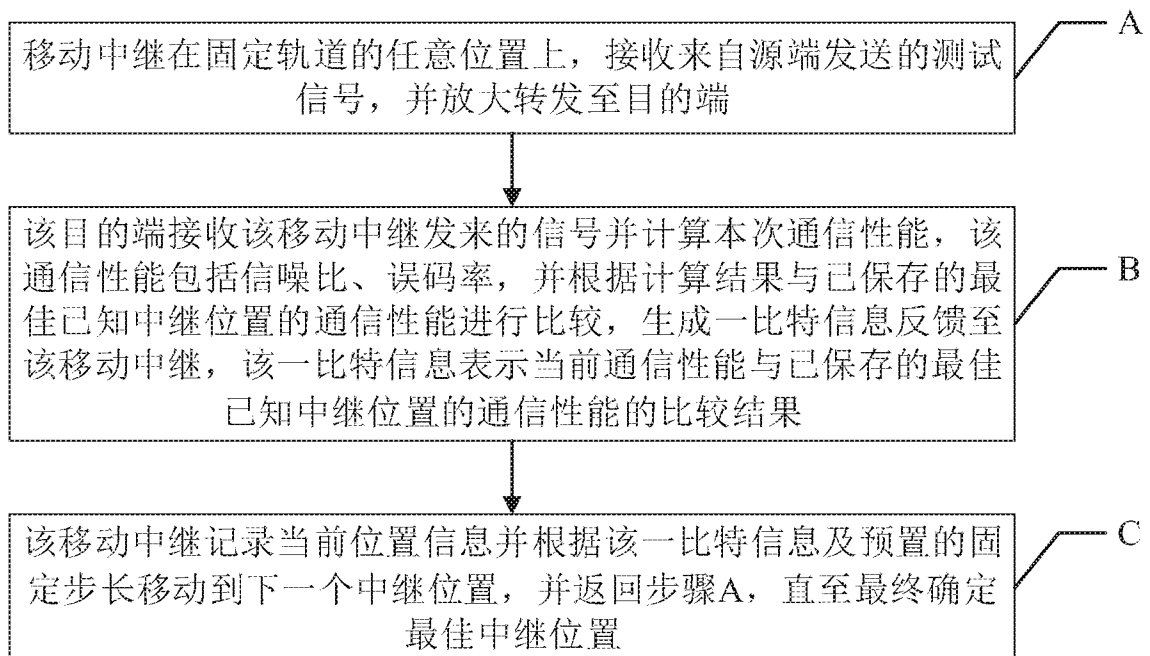


图 1

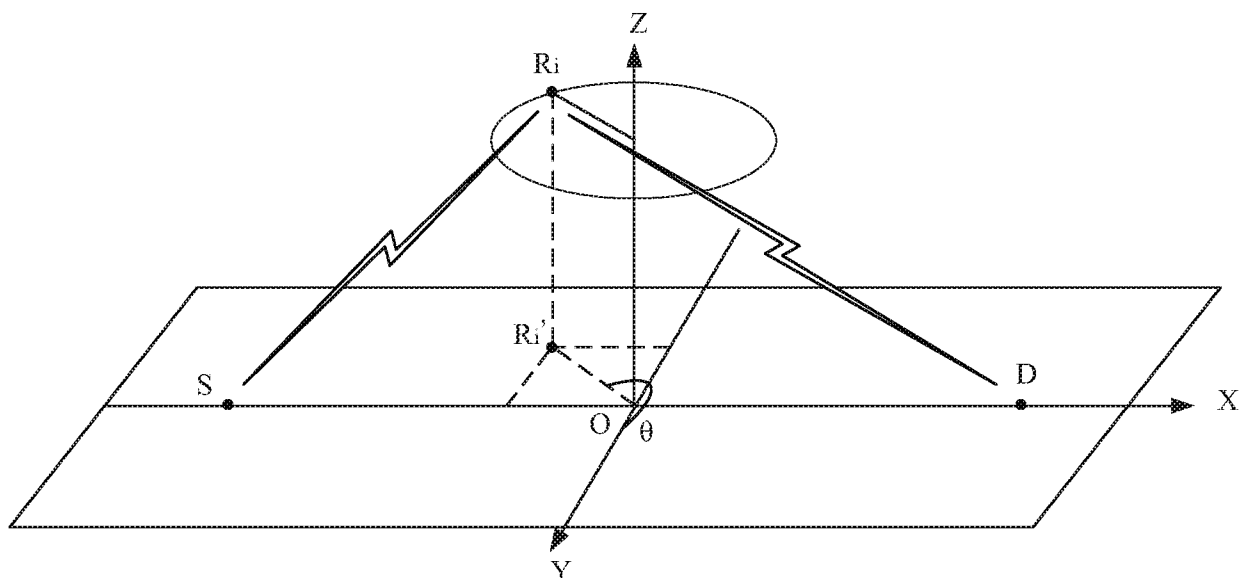


图 2

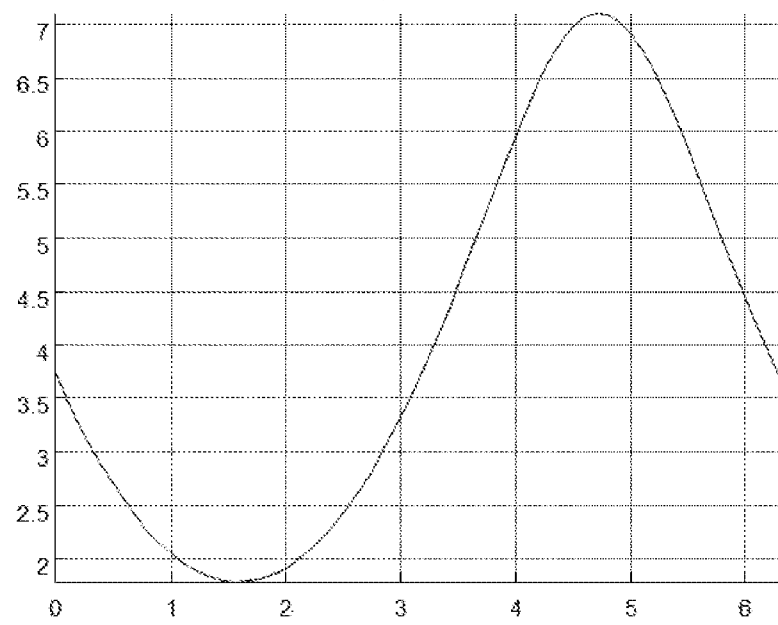


图 3a

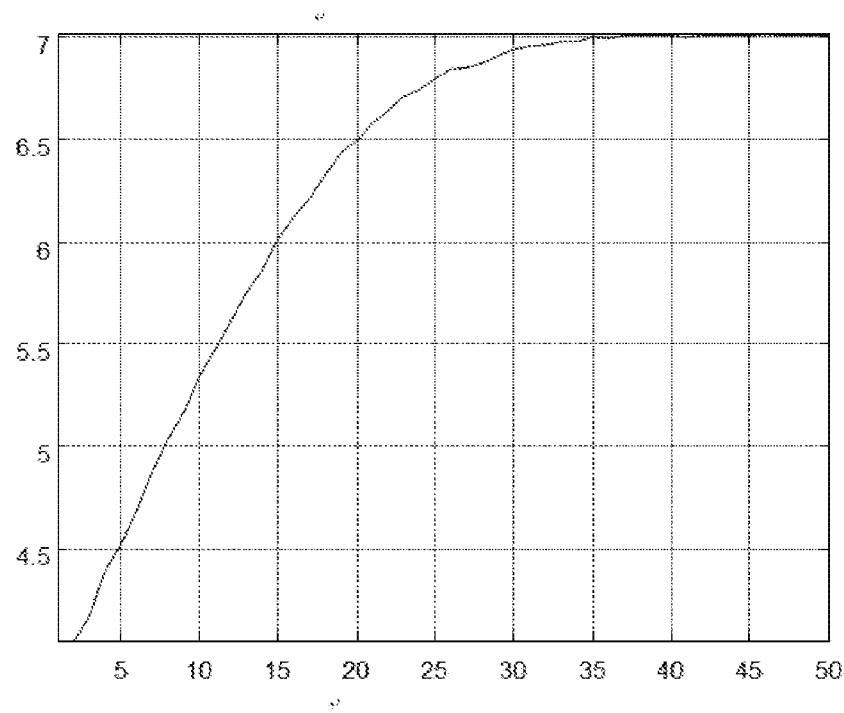


图 3b

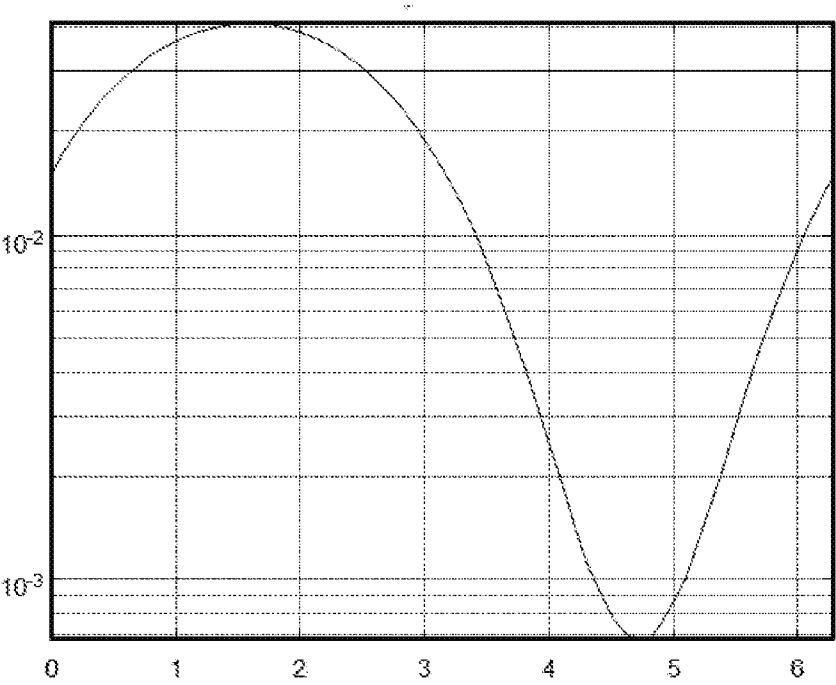


图 4a

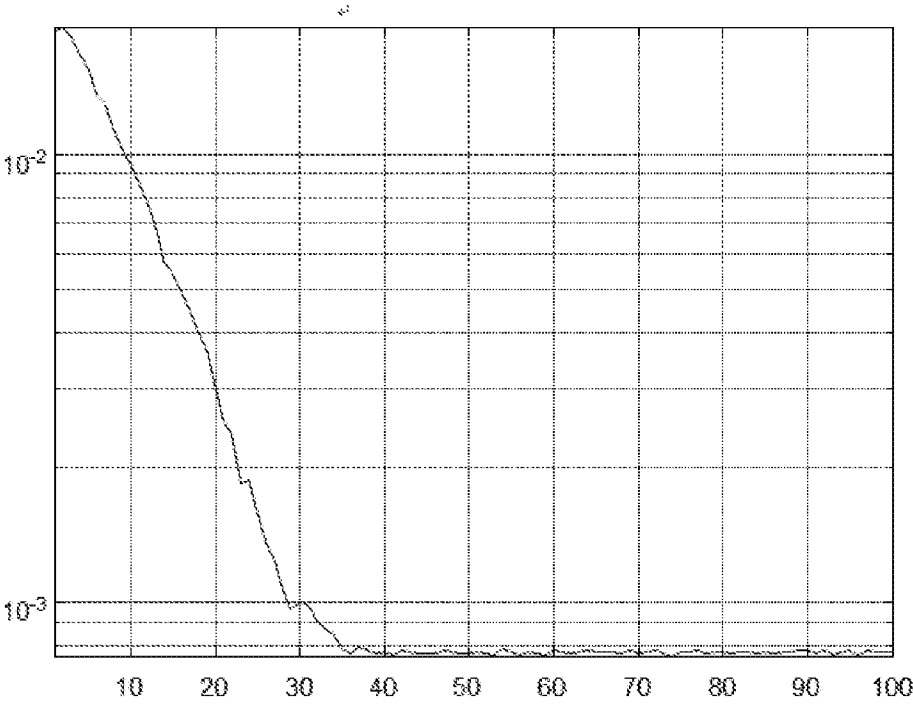


图 4b

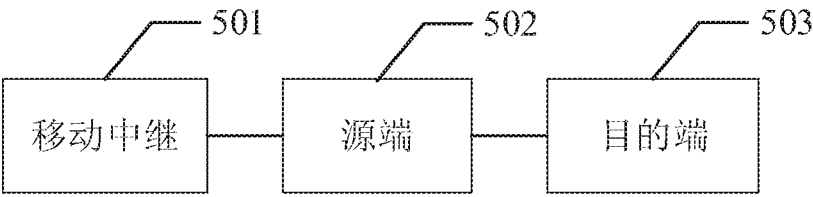


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/096738

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W 40/22 (2009.01) i; H04W 64/00 (2009.01) i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04W; H04Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI; EPODOC; CNPAT ; CNKI; IEEE: relay, UAV, unmanned aerial vehicle, position, location, best, optimal, optimum, step, SNR,
SER, bit, path, track

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 105491637 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 13 April 2016 (13.04.2016) claims 1-10	1-10
A	LIN, Min et al., "Optimal design and performance analysis for two-hop wireless links with UAV relaying" Systems Engineering and Electronics, vol. 37, no. 6, 30 June 2015 (30.06.2015), ISSN:1001-506X, chapters 1-3	1-10
A	ZHAN, Pengcheng et al., "Wireless Relay Communication using an Unmanned Aerial Vehicle" 2006 IEEE 7th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, volume, number, 05 July 2006 (05.07.2006), ISSN: 1948-3244, the whole document	1-10
A	CHAMSEDDINE, Abbas et al., "Optimal position seeking for unmanned aerial vehicle communication relay using only signal strength and angle of arrival" 53rd IEEE Conference on Decision and Control, volume, number, 17 December 2014 (17.12.2014) the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05 August 2016	Date of mailing of the international search report 06 September 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Puxin Telephone No. (86-10) 62413345

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/096738

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105491637 A	13 April 2016	None	

A. 主题的分类 H04W 40/22 (2009.01)i; H04W 64/00 (2009.01)i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H04W; H04Q 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 中继, 无人机, 位置, 定位, 极佳, 最佳, 最优, 最好, 步长, 信噪比, 误码率, 比特, 轨道, relay, UAV, unmanned aerial vehicle, position, location, best, optimal, optimum, step, SNR, SER, bit, path, track																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>CN 105491637 A (深圳大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>林敏 等. "无人飞行器中继双跳无线链路中的优化设计及性能分析" 系统工程与电子技术, 第37卷, 第6期, 2015年 6月 30日 (2015 - 06 - 30), ISSN: 1001-506X, 第1-3节</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>ZHAN, Pengcheng 等. "Wireless Relay Communication using an Unmanned Aerial Vehicle" 2006 IEEE 7th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, 第/卷, 第/期, 2006年 7月 5日 (2006 - 07 - 05), ISSN: 1948-3244, 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CHAMSEDDINE, Abbas 等. "Optimal position seeking for unmanned aerial vehicle communication relay using only signal strength and angle of arrival" 53rd IEEE Conference on Decision and Control, 第/卷, 第/期, 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17), 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	E	CN 105491637 A (深圳大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 权利要求1-10	1-10	A	林敏 等. "无人飞行器中继双跳无线链路中的优化设计及性能分析" 系统工程与电子技术, 第37卷, 第6期, 2015年 6月 30日 (2015 - 06 - 30), ISSN: 1001-506X, 第1-3节	1-10	A	ZHAN, Pengcheng 等. "Wireless Relay Communication using an Unmanned Aerial Vehicle" 2006 IEEE 7th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, 第/卷, 第/期, 2006年 7月 5日 (2006 - 07 - 05), ISSN: 1948-3244, 全文	1-10	A	CHAMSEDDINE, Abbas 等. "Optimal position seeking for unmanned aerial vehicle communication relay using only signal strength and angle of arrival" 53rd IEEE Conference on Decision and Control, 第/卷, 第/期, 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17), 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
E	CN 105491637 A (深圳大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 权利要求1-10	1-10															
A	林敏 等. "无人飞行器中继双跳无线链路中的优化设计及性能分析" 系统工程与电子技术, 第37卷, 第6期, 2015年 6月 30日 (2015 - 06 - 30), ISSN: 1001-506X, 第1-3节	1-10															
A	ZHAN, Pengcheng 等. "Wireless Relay Communication using an Unmanned Aerial Vehicle" 2006 IEEE 7th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, 第/卷, 第/期, 2006年 7月 5日 (2006 - 07 - 05), ISSN: 1948-3244, 全文	1-10															
A	CHAMSEDDINE, Abbas 等. "Optimal position seeking for unmanned aerial vehicle communication relay using only signal strength and angle of arrival" 53rd IEEE Conference on Decision and Control, 第/卷, 第/期, 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17), 全文	1-10															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2016年 8月 5日		国际检索报告邮寄日期 2016年 9月 6日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 李普昕 电话号码 (86-10)62413345															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/096738

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 105491637 A	2016年 4月 13日	无	