

(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 2017/096543 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/CN2015/096740
- (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 BASED ON REVERSE COMPENSATION MECHANISM

(54) 发明名称: 基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法及系统

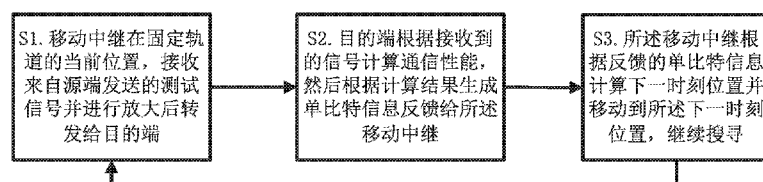


图 2

- S1 A MOBILE RELAY, AT A CURRENT POSITION OF A FIXED TRACK, RECEIVING A TEST SIGNAL SENT FROM A SOURCE END, AMPLIFYING SAME AND FORWARDING SAME TO A DESTINATION END
- S2 THE DESTINATION END CALCULATING COMMUNICATION PERFORMANCE ACCORDING TO THE RECEIVED SIGNAL, AND THEN GENERATING SINGLE-BIT INFORMATION ACCORDING TO A CALCULATION RESULT AND FEEDING BACK SAME TO THE MOBILE RELAY
- S3 THE MOBILE RELAY CALCULATING A POSITION OF THE NEXT MOMENT ACCORDING TO THE SINGLE-BIT INFORMATION WHICH IS FED BACK, MOVING TO THE POSITION OF THE NEXT MOMENT, AND CONTINUING SEEKING

(57) Abstract: The present invention is applicable to the technical field of wireless communications. Provided is a method for seeking an optimal relay position of a mobile relay based on a reverse compensation mechanism. The steps thereof comprise: A, a mobile relay, at a current position of a fixed track, receiving a test signal sent from a source end, amplifying same and forwarding same to a destination end; B, the destination end calculating communication performance according to the received signal, and then generating single-bit information according to a calculation result and feeding back same to the mobile relay; C, the mobile relay calculating a position of the next moment according to the single-bit information which is fed back, and moving to the position of the next moment; and repeatedly executing steps A-C until an optimal relay position is finally determined. The seeking method and seeking system provided in the present invention can improve relay communication performance without the need for obtaining position information about a source end and a destination end and without the need for multiple antennas, and a mobile relay can find an optimal relay communication position in a given motion trajectory range by using only single-bit information fed back by the destination end.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/096543 A1

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明适用于无线通信技术领域，提供了基于反向补偿机制的移动中继最佳中继位置的搜寻方法，步骤包括：**A**，移动中继在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号并进行放大后转发给目的端；**B**，目的端根据接收到的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；**C**，所述移动中继根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置；重复执行步骤 **A-C**，直至最终确定最佳中继位置。本发明提供的搜寻方法和搜寻系统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，移动中继只利用目的端反馈的单比特信息就能在给定运动轨迹范围内找到最佳的中继通信位置。

基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法及系统

技术领域

本发明属于无线通信技术领域，尤其涉及一种基于反向补偿机制的移动中继的最佳中继位置的搜寻方法及系统。

背景技术

通信中继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。陆地无线电通信很容易被障碍物遮挡和屏蔽，飞机、卫星及无人机（Unmanned Aerial Vehicles, UAVs）可以充当通信中继，因为机载中继可以在崎岖的山区或市区有效地为需要相互通信的双方建立起连接。近年来，使用无人机作为通信中继的问题已吸引不少学者的关注和研究，同时其应用也十分广泛。

现有的应用于移动中继位置搜寻的算法主要有：如图 1a 所示，基于 GPS 去测量源端(S)和目的端(D)的位置信息,移动中继再利用该信息去搜寻最佳中继位置；如图 1b 所示，基于扰动的极值搜索控制（Extremum Seeking Control, ESC）算法；基于机载多天线的算法。现有的移动中继位置搜寻算法都可以使移动中继找到最佳的中继位置，但是这些算法或适用范围也存在一定的不足和缺陷，主要体现在：(1)通信中继依赖于 GPS 容易受到攻击，也可能遭受 GPS 欺骗或干扰而导致中继通信失败，更重要的是，在很多特殊情况下通信双方没有 GPS 功能或者 GPS 设备已损坏，如自然灾害导致 GPS 设备损坏。(2)使用机载多天线对信号到达角(DOA)进行估计来搜寻最佳中继位置，容易出现估计误差，且增加了无人机通信设备的复杂度和算法复杂度。

发明内容

本发明所要解决的技术问题在于提供一种基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法及系统，旨在解决现有以无人机作为移动中继的最佳通信位置的搜寻算法容易遭受 GPS 欺骗或干扰而导致通信中继失败，容易出现估计误差，且增加了移动中继通信设备的复杂度和算法复杂度的问题。

本发明是这样实现的，基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法，步骤包括：

步骤 A，移动中继在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号并进行放大后转发给目的端；

步骤 B，目的端根据接收到的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；所述单比特信息包括接收信号性能是否提高的信息；

步骤 C，所述移动中继根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置；

重复执行步骤 A-C，直至最终确定最佳中继位置。

进一步地，所述步骤 A 之前还包括：移动中继在固定轨道的任意起始位置进行初始化，并在内存中将初始化位置记录为已知最佳位置。

进一步地，步骤 B 具体包括：

所述目的端根据第一次接收到信号进行初始化，根据接收的信号计算通信性能，将所述通信性能保存在内存中作为已知最佳通信性能，所述通信性能包括信噪比强度和误码率；当目的端接收新的信号后计算新的通信性能，将新的通信性能与内存中保存的已知最佳通信性能进行比较，根据比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继，同时在确定接收性能提高后，更新内存中的已知最佳通信性能。

进一步地，步骤 C 具体包括：所述移动中继根据所述单比特信息计算随机扰动步长，同时引入修正因子，然后所述移动中继根据计算结果变换运动步长和方向在固定轨道上进行位置移动，并返回步骤 A。

进一步地，步骤 C 具体包括：

步骤 C1，所述移动中继记录其已知最佳位置 $\theta(n)$ ， n 表示第 n 个时隙；

步骤 C2，所述移动中继根据所述单比特信息变换运动步长，变换后的运动步长包括随机扰动步长和修正因子；

步骤 C3，所述移动中继根据变换后的运动步长计算下一时刻位置，然后移动至所述下一时刻位置，返回步骤 A，继续接收来自源端发射的测试信号，并放大转发至目的端；

以 $\varphi(n)$ 表示所述下一时刻位置，以 $\delta(n)$ 所述随机扰动步长， $\xi(n)$ 表示所述修正因子，则： $\varphi(n) = \theta(n) + \delta(n) + \xi(n)$ ；

步骤 C4，所述移动中继根据反馈的单比特信息更新已知最佳位置并存储，计算运动步长和方向以确定下一时刻位置并移动到该下一时刻位置。

进一步地，所述步骤 C4 具体包括：

步骤 C41：移动中继对所述单比特信息进行判断；

步骤 C42：在判断为接收信号性能提高时，修正因子清零。

步骤 C43：在判断为接收信号性能未提高时，移动中继返回上一时隙的位置，修正因子修改为上一时隙的运动步长的相反数。

本发明还提供了基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻系统，包括源端、移动中继和目的端：

所述源端，用于发送测试信号至所述移动中继；

所述移动中继，用于在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号进行放大后转发给目的端；

所述目的端，用于根据接收到的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；所述单比特信息包括接收性能是否提高的信息；

所述移动中继还用于根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置，并实时将所述源端发送的测试信号进行放大后传输至所述目

的端进行计算，直至最终确定最佳中继位置。

进一步地，移动中继还用于，在固定轨道的任意位置进行初始化，并在内存中将初始化位置记录为已知最佳位置。

进一步地，所述目的端根据接收的信号计算通信性能，将所述通信性能保存在内存中作为已知最佳通信性能，所述通信性能包括信噪比强度和误码率；目的端接收新的信号后计算新的通信性能，将新的通信性能与内存中保存的已知最佳通信性能进行比较，根据比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继，同时在确定接收性能提高后，更新内存中的已知最佳通信性能。

进一步地，所述移动中继根据所述单比特信息计算随机扰动步长，同时引入修正因子，然后所述移动中继根据计算结果变换运动步长和方向在固定轨道上进行位置移动，并实时将所述源端发送的测试信号进行放大后传输至所述目的端进行计算，直至最终确定最佳中继位置。

本发明与现有技术相比，有益效果在于：本发明提供的搜寻方法和搜寻系统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，移动中继只利用目的端反馈的单比特信息就能在给定运动轨迹范围内找到最佳的中继通信位置。

附图说明

图 1 是现有技术提供的以无人机作为移动中继的最佳中继位置搜寻方法的流程图。

图 2 是本发明实施例提供的一种基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法的流程图。

图 3 是本发明实施例提供的一种基于反向补偿机制的以无人机作为移动中继的最佳中继位置的搜寻系统的结构示意图。

图 4 是本发明实施例提供的使用无人机作为移动中继最佳位置的搜寻过程中的信噪比分布示意图。

图 5 是本发明实施例提供的使用无人机作为移动中继最佳位置的搜寻过程所花时隙与达到信噪比的示意图。

图 6 是本发明实施例提供的使用无人机作为移动中继在固定轨道上的误码率分布图。

图 7 是本发明实施例提供的使用无人机作为移动中继最佳位置的搜寻过程所花时隙与达到误码率的示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

针对现有无人机最佳中继位置搜寻算法的不足和缺陷，即：(1)源端(S)和目的端(D)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移动中继，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 已损坏的通信设备，现有的一些算法是无法使用的；(3)机载多天线相比于单天线增加了移动中继的复杂性，且不可避免的会有角度估计误差，同时也增加了算法的复杂性。本发明提供的算法使用机载单天线，且无需知道源端(S)和目的端(D)的位置信息，依然能够在预定运动轨迹范围内找到最佳的中继位置，适用场景扩大。而使用无人机作为移动中继，利用下降步长扰动正负反馈机制去控制无人机自动搜寻最佳中继位置，能有效地提升通信系统性能。

基于上述原理，本发明提供了如遇 2 所示的一种基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法，步骤包括：

S1，移动中继在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号并进行放大后，将放大测试信号转发给目的端。在本步骤中，移动中继在固定的圆形轨道上的任意位置，并进行初始化，并在内存中将初始化位置记录为已知最

佳位置，接收来自源端发射的测试信号并放大，然后将放大后的测试信号转发给目的端。

S2，目的端根据接收到的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；所述单比特信息包括接收信号性能是否提高的信息。在本步骤中，所述目的端根据第一次接收到信号进行初始化，根据接收的信号计算通信性能，将所述通信性能保存在内存中作为已知最佳通信性能，所述通信性能包括信噪比强度和误码率；当目的端接收新的信号后计算新的通信性能，将新的通信性能与内存中保存的已知最佳通信性能进行比较，根据比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继，同时在确定接收性能提高后，更新内存中的已知最佳通信性能。具体的，在实际使用过程中，所述单比特信息一般用 1 表示接收性能提高，0 表示接收性能未提高，反之亦然。

S3，所述移动中继根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置；重复执行步骤 S1 至 S3，直至最终确定最佳中继位置。在本步骤中，所述移动中继根据所述单比特信息计算随机扰动步长，同时引入修正因子，然后所述移动中继根据计算结果变换运动步长和方向在固定轨道上进行位置移动，并返回步骤 S1。

进一步地，步骤 S3 具体包括：

S31，所述移动中继记录其已知最佳位置 $\theta(n)$ ， n 表示第 n 个时隙；

S32，所述移动中继根据所述单比特信息变换运动步长，变换后的运动步长包括随机扰动步长 $\delta(n)$ 和修正因子 $\xi(n)$ ；

S33，所述移动中继根据变换后的运动步长计算下一时刻位置，然后移动至所述下一时刻位置，返回步骤 S1，继续接收并放大来自源端发射的测试信号，并传输至目的端；

以 $\varphi(n)$ 表示所述下一时刻位置，以 $\delta(n)$ 所述随机扰动步长， $\xi(n)$ 表示所述修正因子，则： $\varphi(n) = \theta(n) + \delta(n) + \xi(n)$ ；

S34，所述移动中继根据反馈的单比特信息更新已知最佳位置并存储，计

算运动步长和方向以确定下一时刻位置并移动到该下一时刻位置。

进一步地，步骤 S4 还进一步的包括：

S341：移动中继对所述单比特信息进行判断；

S342：在判断为接收信号性能提高时，修正因子清零。

S343：在判断为接收信号性能未提高时，移动中继返回上一时隙的位置，修正因子修改为上一时隙的运动步长的相反数。

在具体实施过程中，移动中继可以是无人机、气球、卫星或者飞机等，在本实施例中，以无人机作为移动中继，结合图 3 至图 8 对本发明进行进一步的阐述。

如图 3 所示，为本发明实施例提供的一种基于下降步长扰动正负反馈算法的以无人机作为移动中继的最佳中继位置的搜寻系统，包括源端、移动中继和目的端：源端，用于发送测试信号至移动中继；移动中继，用于在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号进行放大后，将放大测试信号转发给目的端；目的端，用于根据接收的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；所述单比特信息包括接收性能是否提高的信息。所述移动中继还用于根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，并实时将所述源端发送的测试信号进行放大后传输至所述目的端进行计算，直至最终确定最佳中继位置。

如图 3 所示，柱坐标系中的三个坐标变量是 (r, θ, z) 。其中 r 为无人机在 xoy 平面上的运动半径， θ 为从正 z 轴来看自 x 轴按逆时针方向转到 oR' 所转过的角， oR' 为无人机在 xy 平面的映射， z 为无人机的高度。在

本实施例中：

①、变步长 $\delta(n) = \pm\delta_0$ ， $\delta(n) = +\delta_0$ 表示逆时针方向移动， $\delta(n) = -\delta_0$ 表示顺时针方向移动。

②、无人机在高度为 z ，半径为 r 的圆周上移动，圆心坐标 $o(0,0,z)$ ，源端坐标 $S(x_s, y_s, z_s)$ ，目的端坐标 $D(x_d, y_d, z_d)$ 。

③、无人机在 n 时刻的坐标为 $R(r, \theta(n), z)$ ，那么无人机在 $n+1$ 时刻的坐标为 $R(r, \theta(n+1), z)$ 。

④、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：

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

⑤、 n 时刻中继 $R(r, \theta(n), z)$ 离源 S 与目的端 D 的通信距离分别是：

$$\begin{cases} d_1 = \sqrt{(r \cos \theta(n), r \sin \theta(n), z) - (x_s, y_s, z_s)} = \sqrt{(r \cos \theta(n) - x_s)^2 + (r \sin \theta(n) - y_s)^2 + (z - z_s)^2} \\ d_2 = \sqrt{(r \cos \theta(n), r \sin \theta(n), z) - (x_d, y_d, z_d)} = \sqrt{(r \cos \theta(n) - x_d)^2 + (r \sin \theta(n) - y_d)^2 + (z - z_d)^2} \end{cases}$$

(2) 移动中继通信过程：

第一跳通信：源端(S)到无人机(R)

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

x 表示 S 发射的信号， P_S 表示 S 的发射功率， n_1 是满足 $E[|n_1|^2] = N_{01}$ 的加性高斯白噪声。 $L_{S,R} = \frac{\lambda}{4\pi d_1}$ 是第一跳信道的自由空间路径损耗。

第二跳通信：无人机(R)到目的端(D)

$$\begin{aligned} y_D &= y_R G L_{R,D} + n_2 \\ &= x \sqrt{P_S} G L_{S,R} L_{R,D} + n_1 G L_{R,D} + n_2 \end{aligned} \quad (2)$$

G 是无人机对信号的增益， n_2 是满足 $E[|n_2|^2] = N_{02}$ 的加性高斯白噪声。

$L_{R,D} = \frac{\lambda}{4\pi d_2}$ 是第二跳信道的自由空间路径损耗。

其中增益 G 如下：

$$G = \sqrt{\frac{P_R}{P_S |L_{S,R}|^2}} \quad (3)$$

由公式 (2) 得端到端的信噪比为：

$$\begin{aligned}
\gamma_{end} &= \frac{P_S G^2 |L_{S,R}|^2 |L_{R,D}|^2}{N_{01} G^2 |L_{R,D}|^2 + N_{02}} \\
&= \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}
\end{aligned} \tag{4}$$

其中 γ_1 、 γ_2 如下：

$$\begin{aligned}
\gamma_1 &= \frac{P_S |L_{S,R}|^2}{N_{01}} \\
\gamma_2 &= \frac{P_R |L_{R,D}|^2}{N_{02}}
\end{aligned} \tag{5}$$

详细的，在一个时隙里，对于移动中继来说，如果某一次的扰动（如： $\delta(n)=\delta_0$ ）导致了性能的下降，那么通常反向的扰动（ $\delta(n)=-\delta_0$ ）将带来性能的提升。本实施例中，基于反向补偿机制的移动中继最佳中继位置的搜寻方法具体包括：

- 1) 无人机在内存中记录其已知最佳位置 $\theta(n)$ ，每个迭代时隙增加一个随机扰动步长 $\delta(n)=\pm\delta_0$ ，引入修正因子 $\xi(n)$ ， δ_0 为本算法的扰动步长， n 表示时隙。
- 2) 无人机计算它的下一时刻位置： $\varphi(n)=\theta(n)+\delta(n)+\xi(n)$ 。
- 3) 目的端(D)测量新的接收信号通信性能(信噪比、误码率，以后都用信噪比来表示通信性能)，信噪比强度 $SNR(n)$ ，并且更新内存中的最佳接收信号信噪比强度，更新规则为 $SNR_{best}(n+1)=\max(SNR_{best}(n), SNR(n))$ 。随后目的端反馈单比特信息给无人机，以此表明接收信号性能强度是否提高。
- 4) 无人机根据反馈回来的单比特信息，更新自己的已知最佳位置 $\theta(n)$ ，更新规则如下：

$$\begin{aligned}
& \text{if } SNR(n) > SNR_{best}(n) \\
& \quad \theta(n+1) = \theta(n) + \delta(n) + \xi(n); \\
& \quad \xi(n+1) = 0; \\
& \text{else} \\
& \quad \theta(n+1) = \theta(n); \\
& \quad \xi(n+1) = -\delta(n); \\
& \text{end}
\end{aligned} \tag{6}$$

移动中继位置搜寻仿真如图 4 所示：

初始步长: $\delta(1) = \frac{\pi}{32}$;

(1) 以信噪比为基准表示通信性能的好坏, 也就是公式(4);

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

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

无人机的位置坐标: $(r, \theta(n), z) = (500, \theta(n), 30)$;

图 4 横轴表示 $\theta(n)$, 纵轴表示与 $\theta(n)$ 相对应的该中继位置的端到端信噪比

γ_{end} ;

(2) 以信噪比为基准表示通信性能的好坏, 也就是公式(4);

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

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

无人机的位置坐标: $(r, \theta(n), z) = (500, \theta(n), 30)$;

图 5 横轴表示移动中继搜寻最佳位置过程中花费的时隙数, 纵轴表示端到端信噪比 γ_{end} , 可以看到在搜寻到第 40 个时隙时就找到了 6dB 的位置, 在第 50 个时隙找到了最佳的中继位置, 也就是图 4 中的极大值点。

(3) 以误码率为基准表示通信性能的好坏:

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

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

无人机的位置坐标: $(r, \theta(n), z) = (500, \theta(n), 30)$;

图 6 中横轴表示 $\theta(n)$, 纵轴表示与 $\theta(n)$ 相对应的该中继位置的端到端误码率。

(4) 以误码率为基准表示通信性能的好坏;

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

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

无人机的位置坐标: $(r, \theta(n), z) = (500, \theta(n), 30)$;

图 7 中, 横轴表示移动中继搜寻最佳位置过程中花费的时隙数, 纵轴表示端到端误码率, 可以看到在搜寻到第 55 个时隙时算法收敛结束, 也就是找到了

图 6 中的极小值点。

本发明属于无线通信技术领域，可以被应用来搜寻最佳中继位置点，提高中继通信的性能。本方法适用固定的中继运动轨道。潜在的应用场景有：临时通信系统的搭建、灾害现场的通信连接等。

以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻方法，其特征在于，所述搜寻方法的步骤包括：

步骤 A，移动中继在固定轨道的当前位置，接收来自源端发送的测试信号并进行放大后转发给目的端；

步骤 B，目的端根据接收到的信号计算通信性能，然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继；所述单比特信息包括接收信号性能是否提高的信息；

步骤 C，所述移动中继根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置；

重复执行步骤 A-C，直至最终确定最佳中继位置。

2、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，所述步骤 A 之前还包括：移动中继在固定轨道的任意起始位置进行初始化，并在内存中将初始化位置记录为已知最佳位置。

3、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，步骤 B 具体包括：

所述目的端根据第一次接收到信号进行初始化，根据接收的信号计算通信性能，将所述通信性能保存在内存中作为已知最佳通信性能，所述通信性能包括信噪比强度和误码率；当目的端接收新的信号后计算新的通信性能，将新的通信性能与内存中保存的已知最佳通信性能进行比较，根据比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继，同时在确定接收性能提高后，更新内存中的已知最佳通信性能。

4、如权利要求 1 所述的搜寻方法，其特征在于，步骤 C 具体包括：所述移动中继根据所述单比特信息计算随机扰动步长，同时引入修正因子，然后所述移动中继根据计算结果变换运动步长和方向在固定轨道上进行位置移动，并返回步骤 A。

5、如权利要求 4 所述的搜寻方法，其特征在于，步骤 C 具体包括：

步骤 C1, 所述移动中继记录其已知最佳位置 $\theta(n)$, n 表示第 n 个时隙;

步骤 C2, 所述移动中继根据所述单比特信息变换运动步长, 变换后的运动步长包括随机扰动步长 $\delta(n)$ 和修正因子 $\xi(n)$;

步骤 C3, 所述移动中继根据变换后的运动步长计算下一时刻位置, 然后移动至所述下一时刻位置, 返回步骤 A, 继续接收来自源端发射的测试信号, 并放大转发至目的端;

以 $\varphi(n)$ 表示所述下一时刻位置, 则: $\varphi(n) = \theta(n) + \delta(n) + \xi(n)$;

步骤 C4, 所述移动中继根据反馈的单比特信息更新已知最佳位置并存储, 计算运动步长和方向以确定下一时刻位置并移动到该下一时刻位置。

6、如权利要求 5 所述的搜寻方法, 其特征在于, 所述步骤 C4 具体包括:

步骤 C41: 移动中继对所述单比特信息进行判断;

步骤 C42: 在判断为接收信号性能提高时, 修正因子清零。

步骤 C43: 在判断为接收信号性能未提高时, 移动中继返回上一时隙的位置, 修正因子修改为上一时隙的运动步长的相反数。

7、基于反向补偿机制的最佳中继位置的搜寻系统, 其特征在于, 所述搜寻系统包括源端、移动中继和目的端:

所述源端, 用于发送测试信号至所述移动中继;

所述移动中继, 用于在固定轨道的当前位置, 接收来自源端发送的测试信号进行放大后转发给目的端;

所述目的端, 用于根据接收到的信号计算通信性能, 然后根据计算结果生成单比特信息反馈给所述移动中继; 所述单比特信息包括接收性能是否提高的信息;

所述移动中继还用于根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动到所述下一时刻位置, 并实时将所述源端发送的测试信号进行放大后传输至所述目的端进行计算, 直至最终确定最佳中继位置。

8、如权利要求 7 所述的搜寻系统, 其特征在于, 移动中继还用于, 在固定

轨道的任意位置进行初始化，并在内存中将初始化位置记录为已知最佳位置。

9、如权利要求 7 所述的搜寻系统，其特征在于，所述目的端根据第一次接收到信号进行初始化，根据接收的信号计算通信性能，将所述通信性能保存在内存中作为已知最佳通信性能，所述通信性能包括信噪比强度和误码率；当目的端接收新的信号后计算新的通信性能，将新的通信性能与内存中保存的已知最佳通信性能进行比较，根据比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继，同时在确定接收性能提高后，更新内存中的已知最佳通信性能。

10、如权利要求 7 所述的搜寻系统，其特征在于，所述移动中继根据所述单比特信息计算随机扰动步长，同时引入修正因子，然后所述移动中继根据计算结果变换运动步长和方向在固定轨道上进行位置移动，并实时将所述源端发送的测试信号进行放大后传输至所述目的端进行计算，直至最终确定最佳中继位置。

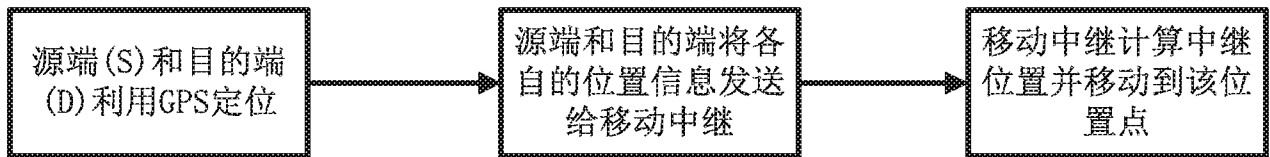


图 1a

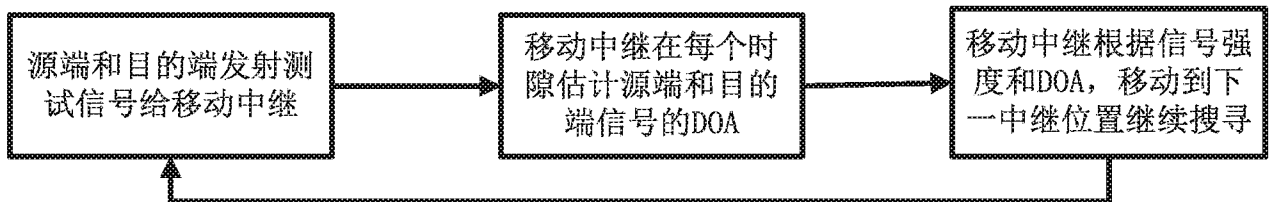


图 1b

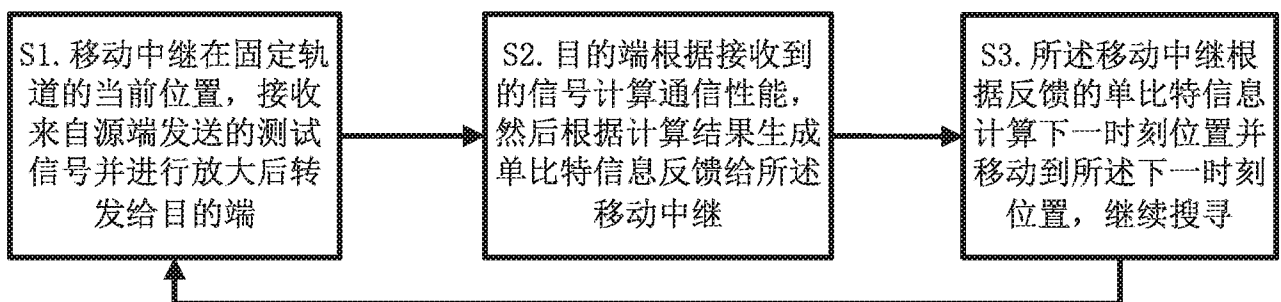


图 2

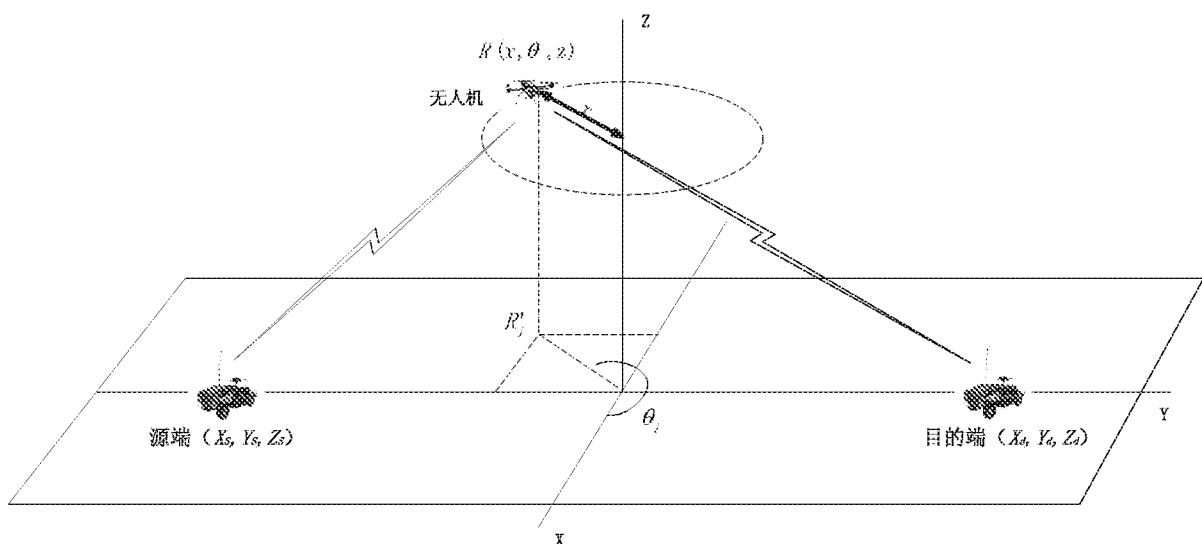


图 3

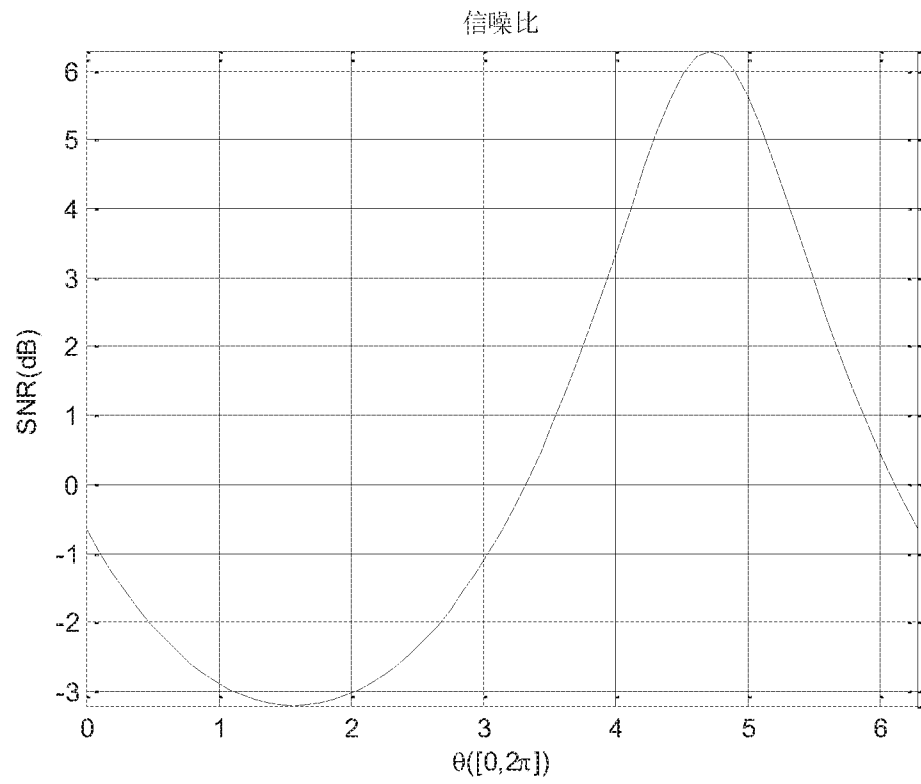


图 4

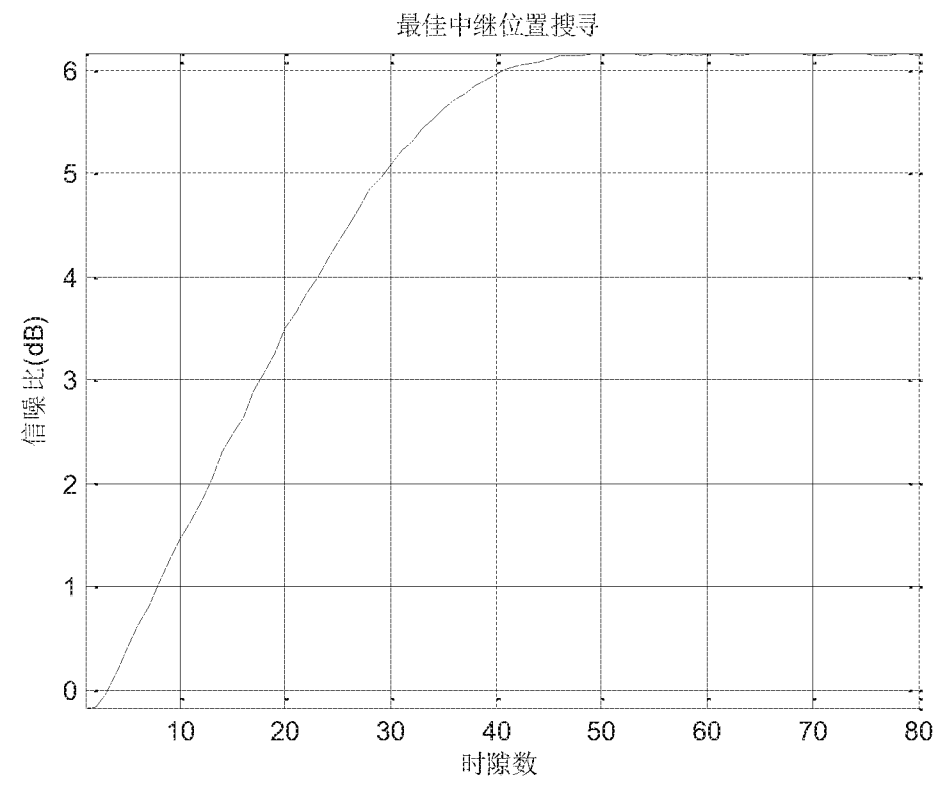


图 5

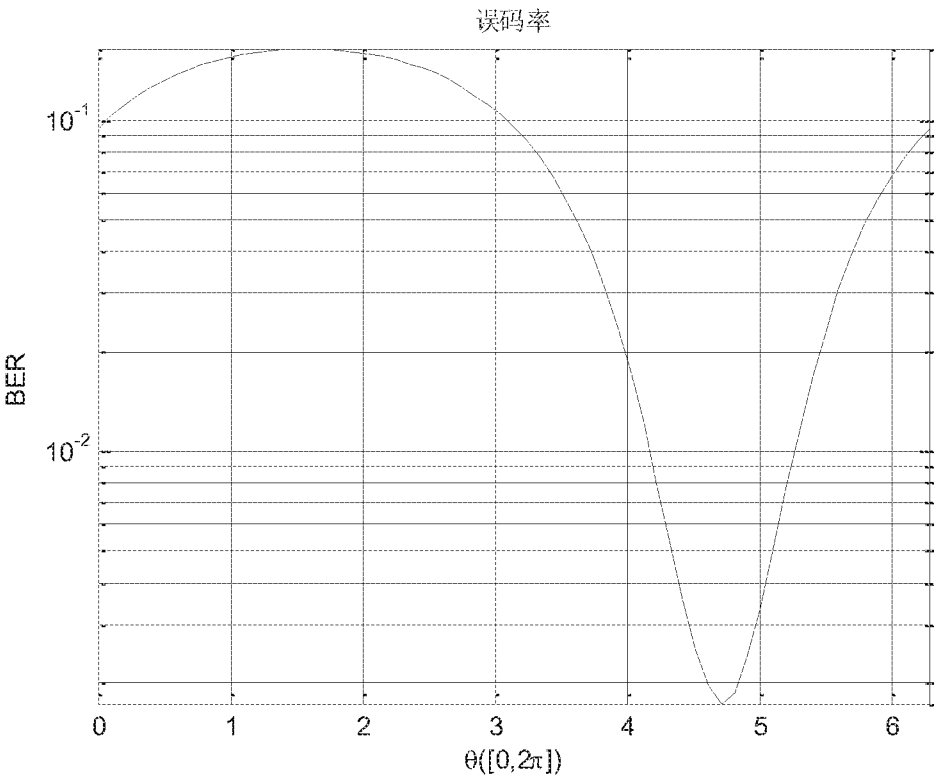


图 6

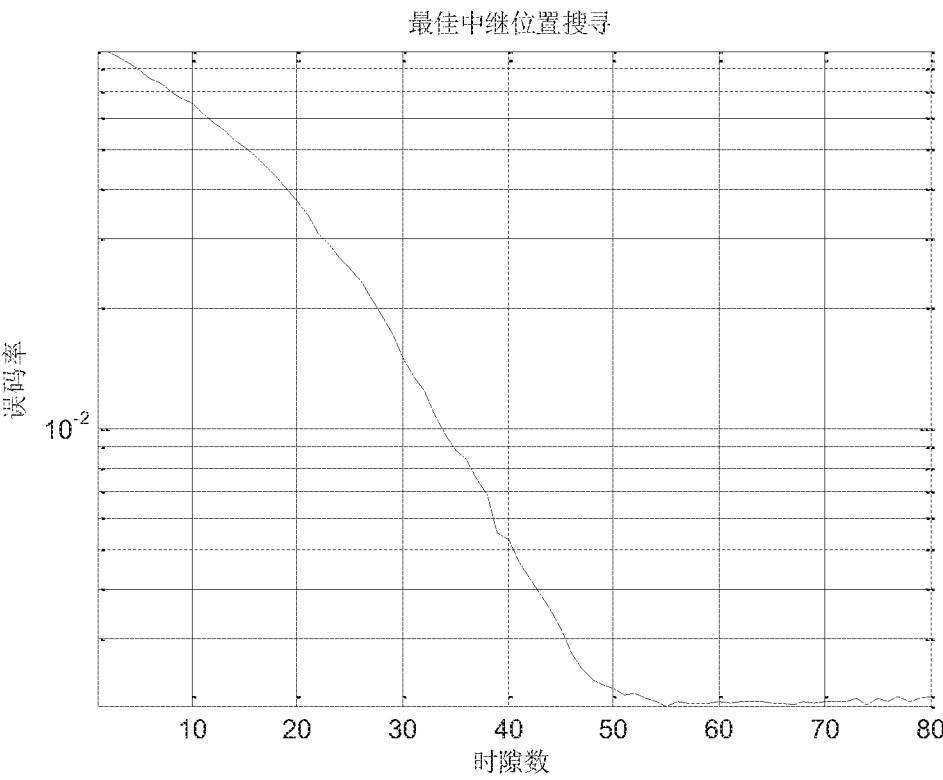


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/096740

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

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)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC; IEEE: UAV, unmanned aerial vehicle, position, location, best, optimal, optimum, relay, move, target, source, step, bit

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
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), pages 1392-1395	1-10
E	CN 105491637 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 13 April 2016 (13.04.2016) the whole document	1-3, 7-9
A	CN 103841572 A (SHENZHEN YUNTONE TIMES SCIENCE TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.) 04 June 2014 (04.06.2014) 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, 17 December 2014 (17.12.2014), pages 976-981	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 19 April 2016	Date of mailing of the international search report 28 April 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 YU, Feng Telephone No. (86-10) 62413009

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/096740

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105491637 A	13 April 2016	None	
CN 103841572 A	04 June 2014	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/096740

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

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))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: 无人机, 位置, 定位, 极佳, 最佳, 最优, 中继, 移动, 目的端, 源端, 步长, 比特, UAV, unmanned aerial vehicle, position, location, best, optimal, optimum, relay, move, target, source, step, bit

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
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), 第1392-1395页	1-10
E	CN 105491637 A (深圳大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 全文	1-3, 7-9
A	CN 103841572 A (深圳市云通时代科技发展有限公司) 2014年 6月 4日 (2014 - 06 - 04) 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, 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17), 第976-981页	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 4月 19日

国际检索报告邮寄日期

2016年 4月 28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

授权官员

于峰

传真号 (86-10) 62019451

电话号码 (86-10) 62413009

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/096740

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	
CN	103841572	A	2014年 6月 4日	无	