

(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 2017/096545 A1

- (51) 国际专利分类号:
H04B 7/185 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/096742
- (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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SEEKING OPTIMAL RELAY POSITION BASED ON TIMING MECHANISM

(54) 发明名称: 一种基于定时机制的最佳中继位置搜寻方法及系统

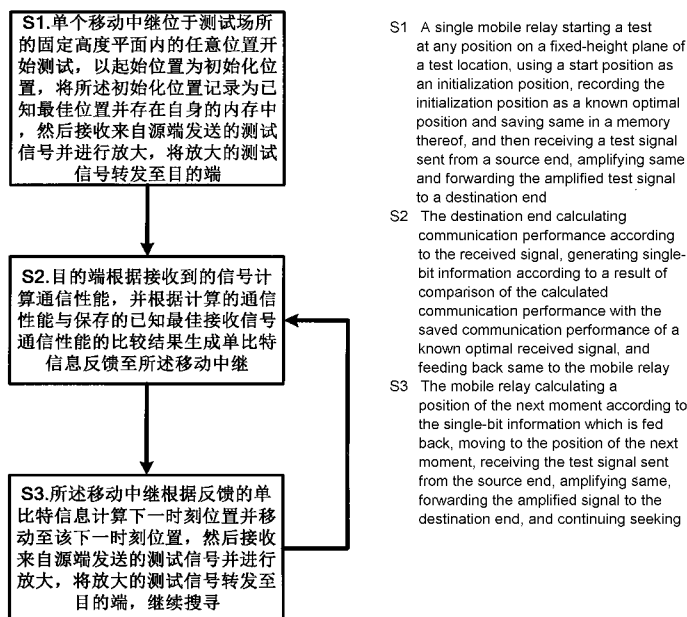


图 2

(57) Abstract: The present invention is applicable to the technical field of wireless communications. Provided is a method for seeking a global optimal relay position based on a timing mechanism. The steps thereof comprise: A, a mobile relay 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, performing comparison, generating single-bit information according to a comparison 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, moving to this position, and then receiving the test signal sent from the source end, amplifying same and forwarding same to the destination end; and repeating steps B and C until a global optimal relay position is found. By means of the present invention, an optimal relay position can be found within a global range by relying only on a positioning function of a mobile relay itself and single-bit information fed back by a destination end without the need for knowing position information about a source end and a destination end, restrictions are reduced in comparison with an existing algorithm, and an applicable scenario is expanded.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/096545 A1

本发明适用于无线通信技术领域，提供了基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法，步骤包括：A，移动中继接收来自源端发送的测试信号并进行放大后转发至目的端；B，目的端根据接收到的信号计算通信性能并比较，并根据比较结果生成单比特信息反馈至移动中继；C，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至该位置，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大后转发至目的端，重复步骤 B-C，直至找到全局最优中继位置。本发明无需知道源端和目的端的位置信息，仅仅依靠移动中继自身的定位功能和目的端反馈单比特信息就能够在全局范围内找到最佳的中继位置，相比于现有算法，所受到的限制减少了，适用场景扩大。

一种基于定时机制的最佳中继位置搜寻方法及系统

技术领域

本发明属于无线通信技术领域，尤其涉及一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法及系统。

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，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；基于扰动的极值搜索控制(Extremum Seeking Control, ESC)算法；如图 1b，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，但是这些算法的适用范围也存在一定的不足和缺陷，主要体现在：(1)源端(S)和目的端(D)都需要 GPS 来测量自身的位置并将该位置信息告知移动中继，也就是说，在这样的中继通信系统中，源端(S)、目的端(D)和移动中继三者都需要依赖 GPS，而依赖于 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定时机制的全局最优中继位置搜寻方法及系统，旨在解决现有移动中继在中继位置寻找过程中依赖 GPS，使用机载天线容易导致估计误差的问题。

本发明是这样实现的，一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法，步骤包括：

步骤 A，单个移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试，以起始位置为初始化位置，将所述初始化位置记录为已知最佳位置并存在移动中继的内存中，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大，将放大的测试信号转发至目的端，目的端计算第一次接收到的信号通信性能，并将所述

第一次接收到的信号通信性能记录为已知最佳通信性能保存在目的端的内存中；

步骤 B，目的端根据每次接收到的信号计算通信性能，并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继；所述单比特信息包括性能是否提高的信息，所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能；

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至该下一时刻位置，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大，将放大的测试信号转发至目的端，重复步骤 B-C，直至找到全局最优中继位置。

进一步地，步骤 B 中，目的端根据接收的信号计算通信性能，然后将所述通信性能与自身内存保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，根据比较结果更新内存中保存的已知最佳接收信号的通信性能，并生成单比特信息反馈至所述移动中继。

进一步地，步骤 C 具体包括：

步骤 C1，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至该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，然后返回步骤 B，继续进行第一阶段位置搜寻，直至确定第一阶段最佳中继位置然后结束第一阶段位置搜寻；

步骤 C2，第一阶段位置搜寻结束之后，移动中继以所述第一阶段最佳中继位置为起点开始进行第二阶段位置搜寻，直至确定第二阶段最佳中继位置，所述第二阶段最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置。

进一步地，步骤 C1 具体包括：

步骤 C11，所述移动中继记录其已知最佳位置，并设置第一阶段搜寻时间阈值，所述已知最佳位置用 $R_1(n)$ 表示， n 表示第 n 个时隙；

步骤 C12，所述移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，返回步骤 B；

以 $\varphi_1(n+1)$ 表示所述下一时刻位置，以 Δ_x 表示所述第一扰动步长，则：
$$\varphi_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$$
，所述第一扰动步长的初始值预设 $\Delta_x = (x_0, 0, 0)$ ；

步骤 C13，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

步骤 C14，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

步骤 C15，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第一阶段位置搜寻；

步骤 C16，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位

置,同时连续负反馈计数器加 1,第一扰动步长修改为上一时隙的第一扰动步长的相反数,并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值;所述连续负反馈阈值设定为 2;

步骤 C17,若判断步骤 C16 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值,则连续负反馈计数器清零并减小第一扰动步长,然后判断是否结束第一阶段位置搜寻;

步骤 C18,若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值,则结束第一阶段位置搜寻,并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置;

若所述移动中继的搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值,则返回步骤 C12 继续搜寻。

进一步地,步骤 C2 具体包括:

步骤 C21,移动中继根据所述第一阶段最佳中继位置为起点,并设置第二阶段搜寻时间阈值;

步骤 C22,所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置,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 $\varphi_2(n+1)$ 表示下一时刻位置,以 $R_2(n)$ 表示已知最佳中继位置, Δ_y 表示第二扰动步长 Δ_y , 则: $\varphi_2(n+1)=R_2(n)+\Delta_y$, 所述第二扰动步长的初始值预设 $\Delta_y=(0,y_0,0)$;

步骤 C23,目的端计算新的接收信号的通信性能,根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较,若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能,则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能,然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继;若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差,则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变,然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继;

步骤 C24,所述移动中继对所述单比特信息进行判断;

步骤 C25,在判断为接收信号性能提升时,将连续负反馈计数器清零,更新保存的已知最佳中继位置,并判断是否结束第二阶段位置搜寻;

步骤 C26,在判断为接收信号性能未提升时,移动中继返回上一时隙的位置,同时连续负反馈计数器加 1,第二扰动步长修改为上一时隙的第二扰动步长的相反数,并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值;所述连续负反馈阈值设定为 2;

步骤 C27,若判断步骤 C26 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值,则连续负反馈计数器清零并减小第二扰动步长,然后判断是否结束第二阶段位置搜寻;

步骤 C28,若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值,则结束第二阶段位置搜寻,并将保存的已知最佳中继位置作为第二阶段的最佳中继位置,所述第二阶段的最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置;

若所述移动中继的搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值，则返回步骤 C22。

本发明还提供了一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻系统，包括源端、单个移动中继和目的端；

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，用于移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试，以起始位置为初始化位置，将所述初始化位置记录为已知最佳位置并存在自身的内存中，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大，将放大的测试信号转发至目的端；

所述目的端，用于根据每次接收到的信号计算通信性能，并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继；所述单比特信息包括性能是否提高的信息，所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能；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至该下一时刻位置，继续将源端传输的测试信号进行放大后转发至所述目的端，直至找到全局最优中继位置。

进一步地，目的端计算第一次接收到的信号通信性能，并将所述第一次接收到的信号通信性能记录为已知最佳通信性能保存在自身的内存中，目的端根据接收到的新的信号计算通信性能，然后将所述通信性能与自身内存保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，根据比较结果更新内存中保存的已知最佳接收信号的通信性能，并生成单比特信息反馈至所述移动中继。

进一步地，所述搜寻系统具体还用于：

首先，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至该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，继续进行第一阶段位置搜寻，直至确定第一阶段最佳中继位置然后结束第一阶段位置搜寻；

最后，第一阶段位置搜寻结束之后，移动中继以所述第一阶段最佳中继位置为起点开始进行第二阶段位置搜寻，直至确定第二阶段最佳中继位置，所述第二阶段最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置。

进一步地，所述第一阶段位置搜寻具体包括以下步骤：

首先，所述移动中继记录其已知最佳位置，并设置第一阶段搜寻时间阈值，所述已知最佳位置用 $R_1(n)$ 表示， n 表示第 n 个时隙；

接着，所述移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，返回步骤 B；

以 $\varphi_1(n+1)$ 表示所述下一时刻位置，以 Δ_x 表示所述第一扰动步长，则：
$$\varphi_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$$
，所述第一扰动步长的初始值预设 $\Delta_x = (x_0, 0, 0)$ ；

接着，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能

比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

接着，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

接着，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第一阶段位置搜寻；

接着，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加 1，第一扰动步长修改为上一时隙的第一扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续负反馈阈值设定为 2；

接着，若判断上述连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值，则连续负反馈计数器清零并减小第一扰动步长，然后判断是否结束第一阶段位置搜寻；

最后，若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则结束第一阶段位置搜寻，并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置；

若所述移动中继的搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，继续接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，继续进行第一阶段位置搜寻。

进一步地，所述第二阶段位置搜寻具体包括以下步骤：

首先，移动中继根据所述第一阶段最佳中继位置为起点，并设置第二阶段搜寻时间阈值；

接着，所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，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 $\varphi_2(n+1)$ 表示下一时刻位置，以 $R_2(n)$ 表示已知最佳中继位置， Δ_y 表示第二扰动步长 Δ_y ，则： $\varphi_2(n+1)=R_2(n)+\Delta_y$ ，所述第二扰动步长的初始值预设为 $\Delta_y=(0,y_0,0)$ ；

接着，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

接着，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

接着，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第二阶段位置搜寻；

接着，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加 1，第二扰动步长修改为上一时隙的第二扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续负反馈阈值设定为 2；

接着，若判断上述中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值，则

连续负反馈计数器清零并减小第二扰动步长，然后判断是否结束第二阶段位置搜寻；

最后，若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值，则结束第二阶段位置搜寻，并将保存的已知最佳中继位置作为第二阶段的最佳中继位置，所述第二阶段的最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置；

若所述移动中继的搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值，则所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，继续接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，继续进行第二阶段位置搜寻。

本发明与现有技术相比，有益效果在于：本发明无需知道源端和目的端的位置信息，即源端和目的端不需要具备 GPS 功能，仅仅依靠移动中继自身的定位功能就能够在全局范围内找到最佳的中继位置，相比于现有算法的源端、目的端和移动中继都需要具备 GPS 功能来说，所受到的限制减少了，适用场景扩大。

附图说明

图 1a、1b 是现有技术提供的最佳中继位置搜寻算法的流程图。

图 2 是本发明实施例提供的一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法的流程图。

图 3 是本发明实施例提供的一种基于定时机制的以无人机为移动中继的全局最优中继位置搜寻系统的结构示意图。

图 4 是本发明实施例提供的中继位置对应的端到端的信噪比示意图。

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。

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。

针对现有移动中继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。新算法无需知道源端(S)和目的端(D)的位置信息，即源端(S)和目的端(D)不需要具备 GPS 功能，仅仅依靠移动中继自身的定位功能就能够在全局范围内找到最佳的中继位置，相比于现有算法的源端(S)、目的端(D)和移动中继都需要具备 GPS 功能来说，所受到的限制减少了，

适用场景扩大。无人机中继技术,利用自适应变步长算法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。

基于上述理论,本发明提供了如图2所示的一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法,步骤包括:

S1,单个移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试,以起始位置为初始化位置,将所述初始化位置记录为已知最佳位置并存在移动中继的内存中,然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大,将放大的测试信号转发至目的端。在本步骤中,目的端计算第一次接收到的信号通信性能,并将所述第一次接收到的信号通信性能记录为已知最佳通信性能保存在自身的内存中。

S2,目的端根据接收到的信号计算通信性能,并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继;所述单比特信息包括性能是否提高的信息,所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能。在本步骤中,目的端根据接收的信号计算通信性能,然后将所述通信性能与自身内存保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较,根据比较结果更新内存中保存的已知最佳接收信号的通信性能,并生成单比特信息反馈至所述移动中继。

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至该下一时刻位置,然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大,将放大的测试信号转发至目的端,重复步骤S2-S3,直至找到全局最优中继位置。

进一步地,上述步骤S3具体包括:

S31,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至该下一时刻位置,接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端,然后返回步骤S2,继续进行第一阶段位置搜寻,直至确定第一阶段最佳中继位置然后结束第一阶段位置搜寻;

S32,第一阶段位置搜寻结束之后,移动中继以所述第一阶段最佳中继位置为起点开始进行第二阶段位置搜寻,直至确定第二阶段最佳中继位置,所述第二阶段最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置。

进一步地,步骤S31具体包括:

S311,所述移动中继记录其已知最佳位置,并设置第一阶段搜寻时间阈值,所述已知最佳位置用 $R_1(n)$ 表示, n 表示第 n 个时隙;

S312,所述移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置,接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端,返回步骤S2;

以 $\varphi_1(n+1)$ 表示所述下一时刻位置,以 Δ_x 表示所述第一扰动步长,则:
 $\varphi_1(n+1)=R_1(n)+\Delta_x$,所述第一扰动步长的初始值预设 $\Delta_x=(x_0,0,0)$ 。

S313,目的端计算新的接收信号的通信性能,根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较,若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能,则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能,然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继;若新的通信性能

比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

S314，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

S315，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第一阶段位置搜寻；

S316，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加 1，第一扰动步长修改为上一时隙的第一扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续负反馈阈值设定为 2；

S317，若判断步骤 S316 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值，则连续负反馈计数器清零并减小第一扰动步长，然后判断是否结束第一阶段位置搜寻；

S318，若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则结束第一阶段位置搜寻，并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置；

若所述移动中继的搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则返回步骤 S312。

进一步地，步骤 S32 具体包括：

S321，移动中继根据所述第一阶段最佳中继位置为起点，并设置第二阶段搜寻时间阈值；

S322，所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，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 $\varphi_2(n+1)$ 表示下一时刻位置，以 $R_2(n)$ 表示已知最佳中继位置，则：

$\varphi_2(n+1) = R_2(n) + \Delta_y$ ，以 Δ_y 表示所述第二扰动步长，所述第二扰动步长的初始值预设则为 $\Delta_y = (0, y_0, 0)$ 。在本步骤中，以所述第一阶段最佳中继位置为起点，即最初的已知最佳位置进行位置移动，后再后续的位置移动中，不断更新已知最佳位置。

S323，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

S324，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

S325，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第二阶段位置搜寻；

S326，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加 1，第二扰动步长修改为上一时隙的第二扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续

负反馈阈值设定为 2;

S327, 若判断步骤 S326 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值, 则连续负反馈计数器清零并减小第二扰动步长, 然后判断是否结束第二阶段位置搜寻;

S328, 若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值, 则结束第二阶段位置搜寻, 并将保存的已知最佳中继位置作为第二阶段的最佳中继位置, 所述第二阶段的最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置;

若所述移动中继的搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值, 则返回步骤 S322。

在实际应用中, 移动中继可以是无人机、卫星、热气球等, 在本实施例中, 使用无人机作为移动中继。下面, 结合图 3 至图 5 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了一种基于步长阈值机制的以无人机为移动中继的最佳中继位置搜寻系统, 包括源端、单个移动中继和目的端;

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, 用于移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试, 以起始位置为初始化位置, 将所述初始化位置记录为已知最佳位置并存在自身的内存中, 然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大, 将放大的测试信号转发至目的端;

所述目的端, 用于根据接收到的信号计算通信性能, 并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继; 所述单比特信息包括性能是否提高的信息, 所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能; 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至该下一时刻位置, 继续将源端传输的测试信号进行放大后转发至所述目的端, 直至找到全局最优中继位置。

在实际应用过程中, 源端和目的端可以进行功能上的相互切换, 即: 在实施过程中, 源端和目的端同时具备发送训练时序和进行信号处理等功能。

具体的, 在图 3 的空间直角坐标系所示, $S(x_s, y_s, z_s)$ 表示源端的位置坐标, $R(x, y, z)$ 表示无人机的位置坐标, $D(x_d, y_d, z_d)$ 表示目的端的位置坐标。则无人机 $R(x, y, z)$ 离源端 $S(x_s, y_s, z_s)$ 与目的端 $D(x_d, y_d, z_d)$ 的通信距离分别是:

$$\begin{cases} d_1 = \sqrt{(x-x_s)^2 + (y-y_s)^2 + (z-z_s)^2} \\ d_2 = \sqrt{(x-x_d)^2 + (y-y_d)^2 + (z-z_d)^2} \end{cases}$$

移动中继通信过程:

第一跳通信: 源端 (S) 发射信号给无人机 (R),

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

y_R 表示无人机接收到的信号, 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) 将接受到的信号放大转发给目的端 (D)

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

y_D 表示目的端接收到的信号， G 表示中继增益， 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) 得到端到端的信噪比为：

$$\gamma_{end} = \frac{P_S G^2 |L_{S,R}|^2 |L_{R,D}|^2}{N_{01} G^2 |L_{R,D}|^2 + N_{02}} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \quad (4)$$

其中 γ_1 、 γ_2 如下：

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

基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法，步骤具体分两个阶段搜寻：

第一阶段搜寻：

1) 无人机在内存中记录其最佳已知位置 $R_1(n)$ ，用坐标表示为 $R_1(n) = (x_{1n}, y_{1n}, z_{1n})$ ，然后在每个迭代时隙增加一个第一扰动步长 Δ_x ，用坐标表示为 $\Delta_x = (x_0, 0, 0)$ ，同时设置第一阶段搜寻时间阈值 T_{thx} 。 Δ_x 为本算法第一阶段的初始扰动步长， n 表示时隙；目的端在内存中记录与最佳已知位置相应的通信性能（信噪比、误码率、数据速率等）；无人机的起始位置作为初始化位置，并将该初始化位置 $R(1)$ 记录为最佳已知位置，相应地，目的端将与该初始化位置对应的通信性能 $Q(1)$ 记录为最佳已知位置的通信性能 $Q_{best}(1) = Q(1)$ 。

2) 无人机计算它的下一个位置 $\varphi_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$ ，并移动到该位置。

3) D 测量新的接收信号的通信性能 $Q(n)$ ，并且更新其内存中的最佳接收信号通信性能，更新规则为 $Q_{best}(n+1) = \max(Q_{best}(n), Q(n))$ 。随后目的端反馈一单比特信息（假设该比特在传输过程中无误码）给无人机，以表明此次通信性能是否提高。

4) 无人机根据反馈回来的单比特信息, 更新自己的最佳已知位置 $R_1(n)$, 更新规则如下: (C_N 表示连续负反馈计数器, 连续负反馈计数器阈值 $C_T = 2$; 扰动步长下降因子 R_D , 取经验值。)

```

if  $Q(n) > Q_{best}(n)$ 
     $R_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$ ;
     $C_N = 0$ ;
else
     $R_1(n+1) = R_1(n)$ ;
     $C_N = C_N + 1$ ;
     $\Delta_x = -\Delta_x$ ;
    if  $C_N \geq C_T$ 
         $\Delta_x = \Delta_x \cdot R_D$ ;
         $C_N = 0$ ;
    end
end
end

```

5) 无人机判断是否停止第一阶段的搜寻并启动第二阶段搜寻, 若无人机搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值 T_{thx} , 则结束第一阶段位置搜寻, 并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置, 然后启动第二阶段搜寻; 若搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值 T_{thx} , 则返回步骤 1), 继续第一阶段的搜寻。

第二阶段搜寻:

(第一阶段结束, 表示找到了 X 轴上的最优位置, 接下来将在该 X 轴最优位置的基础上, 即以该 X 轴最优位置为起点, 开始寻找 Y 轴上的最优位置, 一旦找到了 Y 轴上的最优位置, 则该位置就是整个 X-Y 平面的最优位置。)

6) 无人机根据所述第一阶段最佳中继位置为起点, 并设置第二阶段搜寻时间阈值 T_{thy} , 然后在每个迭代时隙增加一个第二扰动步长 Δ_y , 用坐标表示为 $\Delta_y = (0, y_0, 0)$ 。 Δ_y 为本算法第二阶段的初始扰动步长。

7) 无人机计算它的下一个位置 $\varphi_2(n+1) = R_2(n) + \Delta_y$, 并移动到该位置。

8) 目的端测量新的接收信号的通信性能 $Q(n)$, 并且更新其内存中的最佳接收信号通信性能, 更新规则为 $Q_{best}(n+1) = \max(Q_{best}(n), Q(n))$ 。随后目的端反馈一比特信息 (假设该比特在传输过程中无误码) 给无人机, 以表明此次通信性能是否提高。

9) 无人机根据反馈回来的一比特信息, 更新自己的最佳已知位置 $R_2(n)$, 更新规则如下: (C_N 表示连续负反馈计数器, 连续负反馈计数器阈值 $C_T = 2$; 扰动步长下降因子 R_D , 取经验值。)

```

if  $Q(n) > Q_{best}(n)$ 
     $R_2(n+1) = R_2(n) + \Delta_y$ 

```

```

 $C_N = 0;$ 
else
 $R_2(n+1) = R_2(n)$ 
 $C_N = C_N + 1;$ 
 $\Delta_y = -\Delta_y;$ 
if  $C_N \geq C_T$ 
 $\Delta_y = \Delta_y \bullet R_D;$ 
 $C_N = 0;$ 
end
end

```

10) 无人机判断是否停止第二阶段搜寻, 若无人机的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值 T_{thy} , 则停止第二阶段搜寻, 整个搜寻过程结束, 无人机最后所处的位置即为所找到的全局最优中继位置; 若搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值 T_{thy} , 则返回步骤 6), 继续第二阶段的搜寻。

无人机最佳中继位置搜寻仿真如图 4 所示:

初始步长 $x_0 = 50, y_0 = 50$; 连续负反馈计数器阈值 $C_T = 2$; 扰动步长下降因子 $R_D = 0.5$; 第一阶段搜寻时间阈值 $T_{thx} = 17$ 个时隙, 第一阶段搜寻时间阈值 $T_{thy} = 18$ 个时隙;

(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: $(x_s, y_s, z_s) = (100, -100, 1)$;

目的端(D)的位置坐标: $(x_d, y_d, z_d) = (-100, 100, 1)$;

无人机的高度固定: 30 m ;

图 4 中, X 轴表示横坐标, Y 轴表示纵坐标, Z 轴表示与坐标点对应的信噪比 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: $(x_s, y_s, z_s) = (100, -100, 1)$;

目的端(D)的位置坐标: $(x_d, y_d, z_d) = (-100, 100, 1)$;

无人机的起始位置坐标(高度固定在 30m): $R(1) = (x_1, y_1, z_1) = (-100, -100, 30)$

图 5 中横轴表示无人机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} , 可以看到无人机在起始位置 $R(1)$ 时的信噪比为 -0.7352dB, 在第 17 个时隙时的信噪比为 0.4844dB, 并停止第一阶段的搜寻并启动第二阶段搜寻, 在第 34 个时隙 (即 $R(34)$ 位置) 时的信噪比为 2.187dB, 找到了图 4 中的极大值点, 也即找到了最佳中继位置, 在第 35 个时隙结束第二阶段搜寻。

本发明属于无线通信技术领域, 可以被应用来搜寻三维空间的全局最优中继位置, 提高中继通信的性能。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、一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻方法，其特征在于，所述全局最优中继位置搜寻方法的步骤包括：

步骤 A，单个移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试，以起始位置为初始化位置，将所述初始化位置记录为已知最佳位置并保存在移动中继的内存中，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大，将放大的测试信号转发至目的端，目的端计算第一次接收到的信号通信性能，并将所述第一次接收到的信号通信性能记录为已知最佳通信性能保存在目的端的内存中；

步骤 B，目的端根据每次接收到的信号计算通信性能，并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继；所述单比特信息包括性能是否提高的信息，所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能；

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至该下一时刻位置，然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大，将放大的测试信号转发至目的端，重复步骤 B-C，直至找到全局最优中继位置。

2、如权利要求 1 所述的全局最优中继位置搜寻方法，其特征在于，步骤 B 中，目的端根据接收的信号计算通信性能，然后将所述通信性能与自身内存保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，根据比较结果更新内存中保存的已知最佳接收信号的通信性能，并生成单比特信息反馈至所述移动中继。

3、如权利要求 2 所述的全局最优中继位置搜寻方法，其特征在于，步骤 C 具体包括：

步骤 C1，所述移动中继根据反馈的单比特信息计算下一时刻位置并移动至该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，然后返回步骤 B，继续进行第一阶段位置搜寻，直至确定第一阶段最佳中继位置然后结束第一阶段位置搜寻；

步骤 C2，第一阶段位置搜寻结束之后，移动中继以所述第一阶段最佳中继位置为起点开始进行第二阶段位置搜寻，直至确定第二阶段最佳中继位置，所述第二阶段最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置。

4、如权利要求 3 所述的全局最优中继位置搜寻方法，其特征在于，步骤 C1 具体包括：

步骤 C11，所述移动中继记录其已知最佳位置，并设置第一阶段搜寻时间阈值，所述已知最佳位置用 $R_1(n)$ 表示， n 表示第 n 个时隙；

步骤 C12，所述移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，返回步骤 B；

以 $\varphi_1(n+1)$ 表示所述下一时刻位置，以 Δ_x 表示所述第一扰动步长，则：
 $\varphi_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$ ，所述第一扰动步长的初始值预设 $\Delta_x = (x_0, 0, 0)$ ；

步骤 C13, 目的端计算新的接收信号的通信性能, 根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较, 若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能, 则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能, 然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继; 若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差, 则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变, 然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继;

步骤 C14, 所述移动中继对所述单比特信息进行判断;

步骤 C15, 在判断为接收信号性能提升时, 将连续负反馈计数器清零, 更新保存的已知最佳中继位置, 并判断是否结束第一阶段位置搜寻;

步骤 C16, 在判断为接收信号性能未提升时, 移动中继返回上一时隙的位置, 同时连续负反馈计数器加 1, 第一扰动步长修改为上一时隙的第一扰动步长的相反数, 并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值; 所述连续负反馈阈值设定为 2;

步骤 C17, 若判断步骤 C16 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值, 则连续负反馈计数器清零并减小第一扰动步长, 然后判断是否结束第一阶段位置搜寻;

步骤 C18, 若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值, 则结束第一阶段位置搜寻, 并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置;

若所述移动中继的搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值, 则返回步骤 C12 继续搜寻。

5、如权利要求 3 所述的全局最优中继位置搜寻方法, 其特征在于, 步骤 C2 具体包括:

步骤 C21, 移动中继根据所述第一阶段最佳中继位置为起点, 并设置第二阶段搜寻时间阈值;

步骤 C22, 所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置, 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 $\varphi_2(n+1)$ 表示下一时刻位置, 以 $R_2(n)$ 表示已知最佳中继位置, Δ_y 表示第二扰动步长 Δ_y , 则: $\varphi_2(n+1) = R_2(n) + \Delta_y$, 所述第二扰动步长的初始值预设为 $\Delta_y = (0, y_0, 0)$;

步骤 C23, 目的端计算新的接收信号的通信性能, 根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较, 若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能, 则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能, 然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继; 若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差, 则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变, 然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继;

步骤 C24, 所述移动中继对所述单比特信息进行判断;

步骤 C25, 在判断为接收信号性能提升时, 将连续负反馈计数器清零, 更新保存的已知最佳中继位置, 并判断是否结束第二阶段位置搜寻;

步骤 C26, 在判断为接收信号性能未提升时, 移动中继返回上一时隙的位置, 同时连续负反馈计数器加 1, 第二扰动步长修改为上一时隙的第二扰动步长的相反数, 并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值; 所述连续负反馈阈值设定为 2;

步骤 C27, 若判断步骤 C26 中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值, 则连续负反馈计数器清零并减小第二扰动步长, 然后判断是否结束第二阶段位置搜寻;

步骤 C28, 若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值, 则结束第二阶段位置搜寻, 并将保存的已知最佳中继位置作为第二阶段的最佳中继位置, 所述第二阶段的最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置;

若所述移动中继的搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值, 则返回步骤 C22。

6、一种基于定时机制的全局最优中继位置搜寻系统, 其特征在于, 所述全局最优中继位置搜寻系统包括源端、单个移动中继和目的端;

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, 用于移动中继位于测试场所的固定高度平面内的任意位置开始测试, 以起始位置为初始化位置, 将所述初始化位置记录为已知最佳位置并存在自身的内存中, 然后接收来自源端发送的测试信号并进行放大, 将放大的测试信号转发至目的端;

所述目的端, 用于根据每次接收到的信号计算通信性能, 并根据计算的通信性能与保存的已知最佳接收信号通信性能的比较结果生成单比特信息反馈至所述移动中继; 所述单比特信息包括性能是否提高的信息, 所述已知最佳接收信号通信性能为已测试的最好通信性能; 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至该下一时刻位置, 继续将源端传输的测试信号进行放大后转发至所述目的端, 直至找到全局最优中继位置。

7、如权利要求 6 所述的全局最优中继位置搜寻系统, 其特征在于, 目的端计算第一次接收到的信号通信性能, 并将所述第一次接收到的信号通信性能记录为已知最佳通信性能保存在自身的内存中; 目的端根据接收到的新的信号计算通信性能, 然后将所述通信性能与自身内存保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较, 根据比较结果更新内存中保存的已知最佳接收信号的通信性能, 并生成单比特信息反馈至所述移动中继。

8、如权利要求 7 所述的全局最优中继位置搜寻系统, 其特征在于, 所述搜寻系统具体还用于:

首先, 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至该下一时刻位置, 接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端, 继续进行第一阶段位置搜寻, 直至确定第一阶段最佳中继位置然后结束第一阶段位置搜寻;

最后, 第一阶段位置搜寻结束之后, 移动中继以所述第一阶段最佳中继位

置为起点开始进行第二阶段位置搜寻，直至确定第二阶段最佳中继位置，所述第二阶段最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置。

9、如权利要求8所述的全局最优中继位置搜寻系统，其特征在于，所述第一阶段位置搜寻具体包括以下步骤：

首先，所述移动中继记录其已知最佳位置，并设置第一阶段搜寻时间阈值，所述已知最佳位置用 $R_1(n)$ 表示， n 表示第 n 个时隙；

接着，所述移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，返回步骤B；

以 $\varphi_1(n+1)$ 表示所述下一时刻位置，以 Δ_x 表示所述第一扰动步长，则：
 $\varphi_1(n+1) = R_1(n) + \Delta_x$ ，所述第一扰动步长的初始值预设为 $\Delta_x = (x_0, 0, 0)$ ；

接着，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

接着，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

接着，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第一阶段位置搜寻；

接着，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加1，第一扰动步长修改为上一时隙的第一扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续负反馈阈值设定为2；

接着，若判断上述连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值，则连续负反馈计数器清零并减小第一扰动步长，然后判断是否结束第一阶段位置搜寻；

最后，若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则结束第一阶段位置搜寻，并将保存的已知最佳中继位置作为第一阶段最佳中继位置；

若所述移动中继的搜寻时间小于预设的第一阶段搜寻时间阈值，则移动中继根据第一扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，继续接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，继续进行第一阶段位置搜寻。

10、如权利要求8所述的全局最优中继位置搜寻系统，其特征在于，所述第二阶段位置搜寻具体包括以下步骤：

首先，移动中继根据所述第一阶段最佳中继位置为起点，并设置第二阶段搜寻时间阈值；

接着，所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，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 $\varphi_2(n+1)$ 表示下一时刻位置，以 $R_2(n)$ 表示已知最佳中继位置， Δ_y 表示

第二扰动步长 Δ_y ，则： $\varphi_2(n+1)=R_2(n)+\Delta_y$ ，所述第二扰动步长的初始值预设为 $\Delta_y=(0, y_0, 0)$ ；

接着，目的端计算新的接收信号的通信性能，根据计算出的通信性能与保存的已知最佳接收信号的通信性能进行比较，若新的通信性能优于已知最佳接收信号的通信性能，则将所述新的接收信号的通信性能保存为已知最佳接收信号的通信性能，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；若新的通信性能比已知最佳接收信号的通信性能差，则保存的已知最佳接收信号的通信性能不变，然后目的端反馈单比特信息给所述移动中继；

接着，所述移动中继对所述单比特信息进行判断；

接着，在判断为接收信号性能提升时，将连续负反馈计数器清零，更新保存的已知最佳中继位置，并判断是否结束第二阶段位置搜寻；

接着，在判断为接收信号性能未提升时，移动中继返回上一时隙的位置，同时连续负反馈计数器加 1，第二扰动步长修改为上一时隙的第二扰动步长的相反数，并判断连续负反馈计数器是否达到预设的连续负反馈阈值；所述连续负反馈阈值设定为 2；

接着，若判断上述中的连续负反馈计数器达到预设的连续负反馈阈值，则连续负反馈计数器清零并减小第二扰动步长，然后判断是否结束第二阶段位置搜寻；

最后，若所述移动中继的搜寻时间大于或者等于预设的第二阶段搜寻时间阈值，则结束第二阶段位置搜寻，并将保存的已知最佳中继位置作为第二阶段的最佳中继位置，所述第二阶段的最佳中继位置即为最终的在固定高度平面内的全局最优中继位置；

若所述移动中继的搜寻时间小于等于预设的第二阶段搜寻时间阈值，则所述移动中继根据第二扰动步长计算下一时刻位置并移动到该下一时刻位置，继续接收来自源端发射的测试信号并放大转发至目的端，继续进行第二阶段位置搜寻。

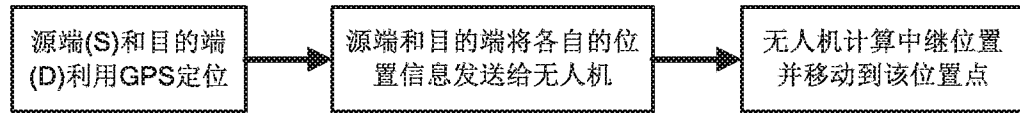


图 1 a

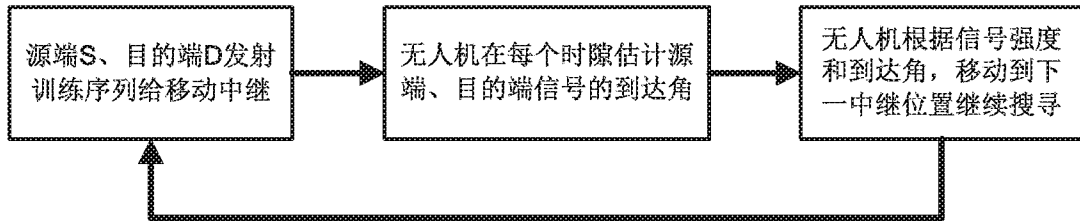


图 1 b

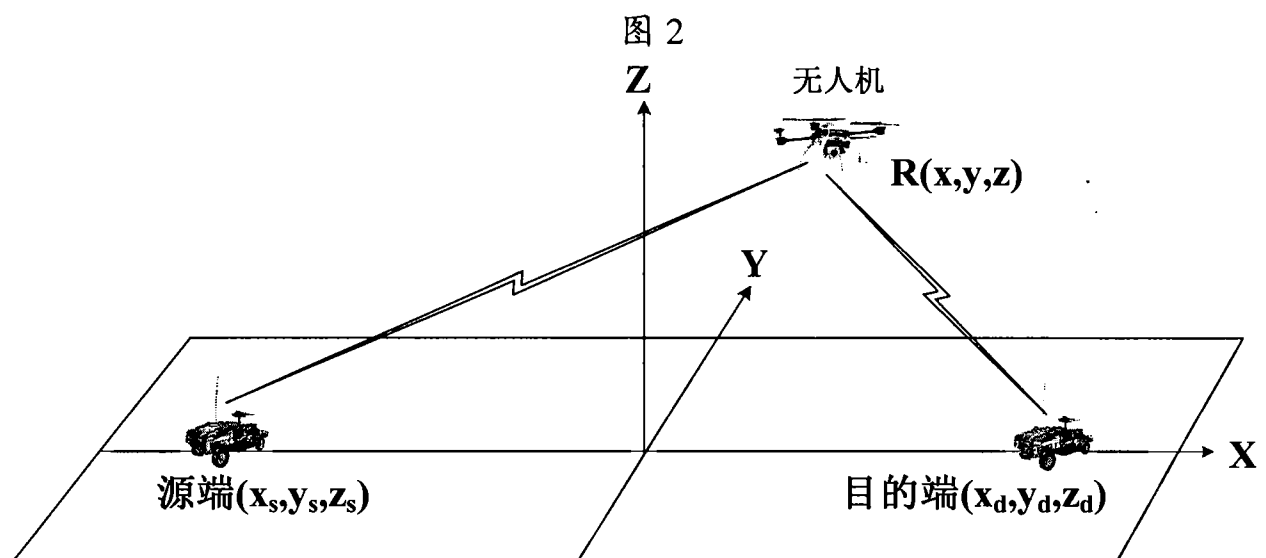
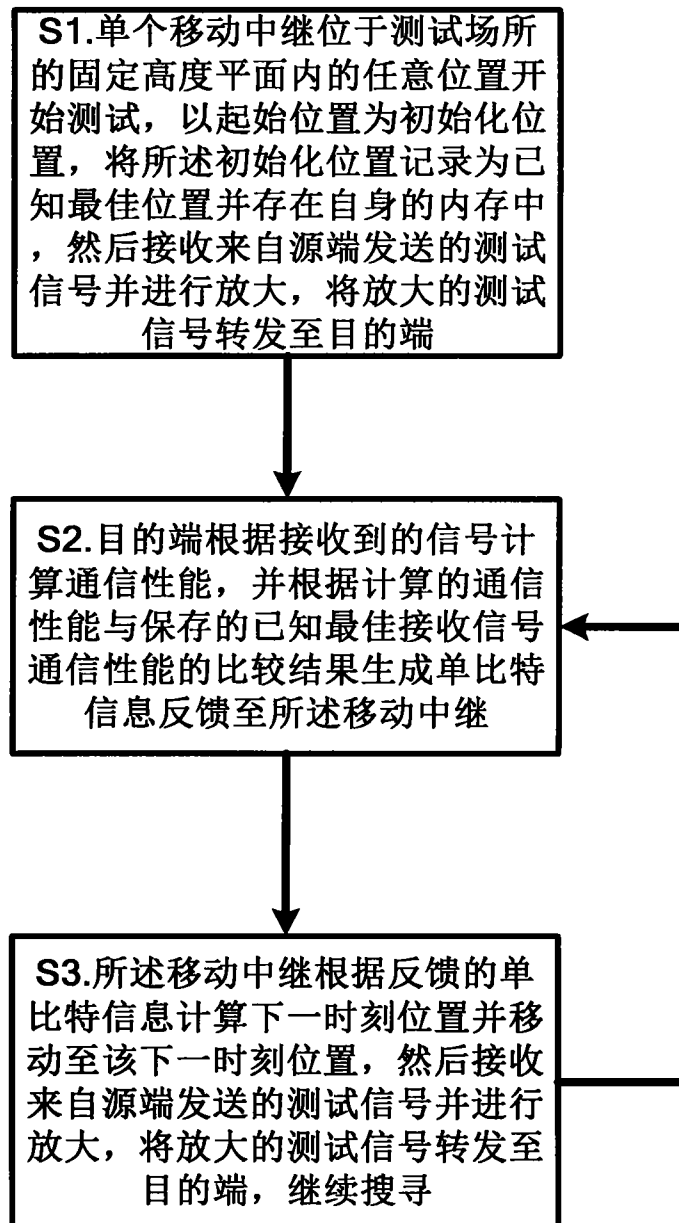


图 3

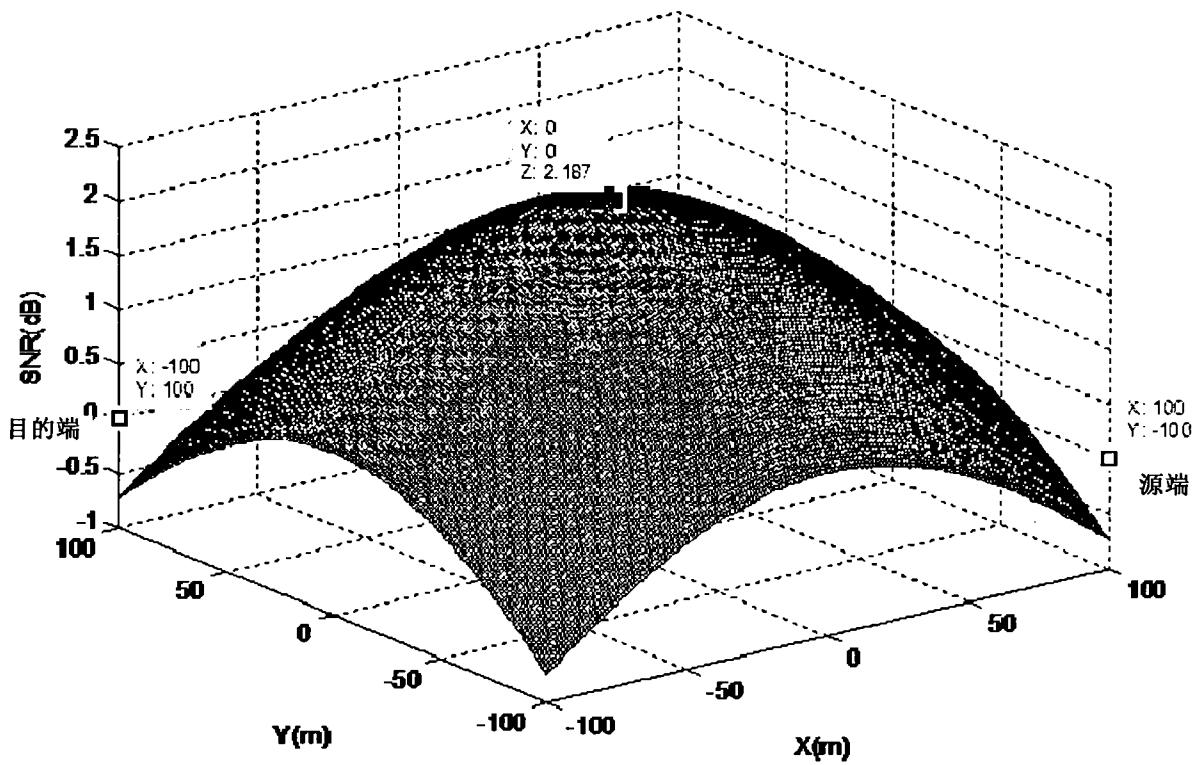


图 4

最佳中继位置搜寻

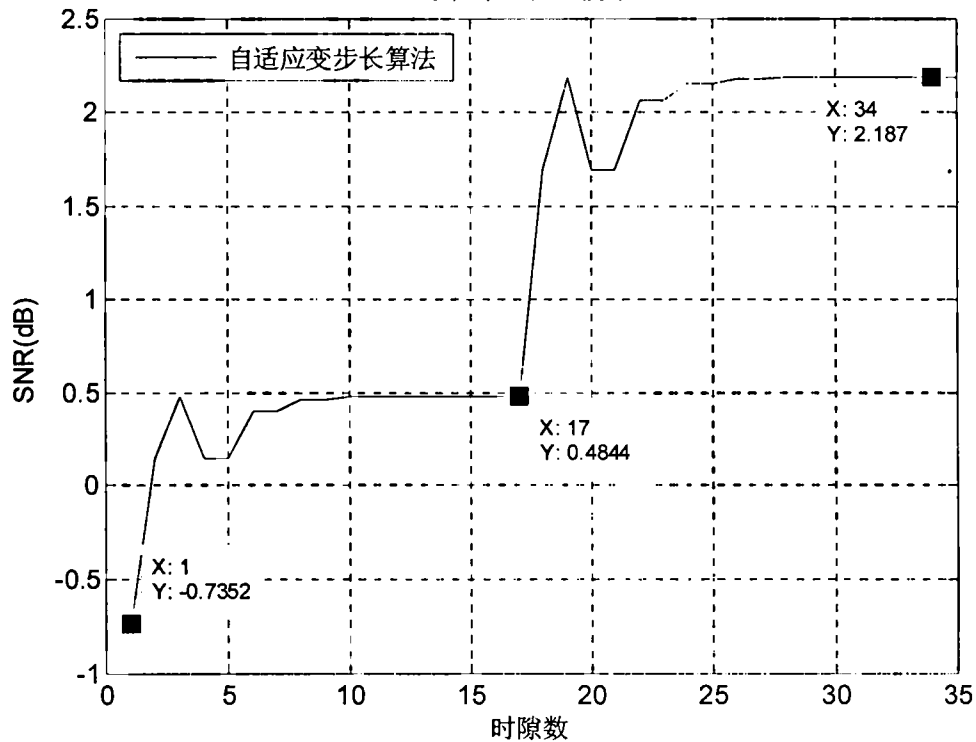


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/096742

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 7/185 (2006.01) 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)

H04B; H04W; H04L; H02J; 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)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC; IEEE: UAV, unmanned, aerial, vehicle?, mobile, relay, position, location

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 105356930 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 24 February 2016 (24.02.2016) claims 1-10	1-10
E	CN 105553537 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 04 May 2016 (04.05.2016) claims 1-9	1, 2, 6, 7
E	CN 105491637 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 13 April 2016 (13.04.2016) claims 1-10, and description, paragraphs [0032]-[0036]	1, 2, 6, 7
E	CN 105554840 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 04 May 2016 (04.05.2016) claims 1-10	1, 2, 6, 7
E	CN 105554841 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 04 May 2016 (04.05.2016) claims 1-10	1, 2, 6, 7
E	CN 105554843 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 04 May 2016 (04.05.2016) claims 1-10	1, 2, 6, 7

☒ 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 10 August 2016	Date of mailing of the international search report 26 August 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 WANG, Yujing Telephone No. (86-10) 62413419

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2015/096742

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104201794 A (BEIJING ZHIGU RUITUO TECHNOLOGY SERVICES CO., LTD.) 10 December 2014 (10.12.2014) the whole document	1-10
A	CHOI, Dae Hyung et al., "Low-complexity Maneuvering Control of a UAV-based Relay without Location Information of Mobile Ground Nodes" 2014 IEEE Symposium on computers and communications (ISCC), 26 June 2014 (26.06.2014), ISSN: 1530-1346, chapters I and IV	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), the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/096742

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105356930 A	24 February 2016	None	
CN 105553537 A	04 May 2016	None	
CN 105491637 A	13 April 2016	None	
CN 105554840 A	04 May 2016	None	
CN 105554841 A	04 May 2016	None	
CN 105554843 A	04 May 2016	None	
CN 104201794 A	10 December 2014	None	

A. 主题的分类 H04B 7/185 (2006.01) 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) H04B; H04W; H04L; H02J; 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)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC, IEEE: 无人机, 无人飞行器, UAV, 移动, 中继, 位置, unmanned, aerial, vehicle?, mobile, relay, position, location		
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
E	CN 105356930 A (深圳大学) 2016年 2月 24日 (2016 - 02 - 24) 权利要求1-10	1-10
E	CN 105553537 A (深圳大学) 2016年 5月 4日 (2016 - 05 - 04) 权利要求1-9	1, 2, 6, 7
E	CN 105491637 A (深圳大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 权利要求1-10, 说明书第32-36段	1, 2, 6, 7
E	CN 105554840 A (深圳大学) 2016年 5月 4日 (2016 - 05 - 04) 权利要求1-10	1, 2, 6, 7
E	CN 105554841 A (深圳大学) 2016年 5月 4日 (2016 - 05 - 04) 权利要求1-10	1, 2, 6, 7
E	CN 105554843 A (深圳大学) 2016年 5月 4日 (2016 - 05 - 04) 权利要求1-10	1, 2, 6, 7
A	CN 104201794 A (北京智谷睿拓技术服务有限公司) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 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 10日		国际检索报告邮寄日期 2016年 8月 26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 王玉婧 电话号码 (86-10)62413419

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	CHOI, Dae Hyung等. "Low-complexity Maneuvering Control of a UAV-based Relay without Location Information of Mobile Ground Nodes" 2014 IEEE Symposium on computers and communications (ISCC), 2014年 6月 26日 (2014 - 06 - 26), ISSN: 1530-1346, 第I, IV节	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), 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/096742

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	105356930	A	2016年 2月 24日	无	
CN	105553537	A	2016年 5月 4日	无	
CN	105491637	A	2016年 4月 13日	无	
CN	105554840	A	2016年 5月 4日	无	
CN	105554841	A	2016年 5月 4日	无	
CN	105554843	A	2016年 5月 4日	无	
CN	104201794	A	2014年 12月 10日	无	