



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110401932 B

(45)授权公告日 2020.06.05

(21)申请号 201910684041.X

CN 105973230 A,2016.09.28,

(22)申请日 2019.07.26

Changsheng You.3D Trajectory

(65)同一申请的已公布的文献号

Optimization in Rician Fading for UAV-

申请公布号 CN 110401932 A

Enabled Data Harvesting.《IEEE

(43)申请公布日 2019.11.01

Transactions on Wireless Communications》

.2019,

(73)专利权人 北京邮电大学

Lakshmi Narashiman Aswin.Design and Structural Analysis for an Autonomous UAV System Consisting of Slave MAVs with

地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

Obstacle Detection Capability Guided by a Master UAV Using Swarm Control.《IOSR

(72)发明人 冯志勇 尉志青 陈旭 张奇勋

黄赛 方子希 马昊

Journal of Electronics and Communication Engineering》.2013,

(74)专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事务所(普通合伙) 11413

Xin Yuan.Capacity Analysis of UAV Communications:Cases of Random

代理人 丁芸 马敬

Trajectories.《IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY》.2018,

(51)Int.Cl.

H04W 4/46(2018.01)

H04W 16/14(2009.01)

审查员 董春阳

(56)对比文件

CN 104881043 A,2015.09.02,

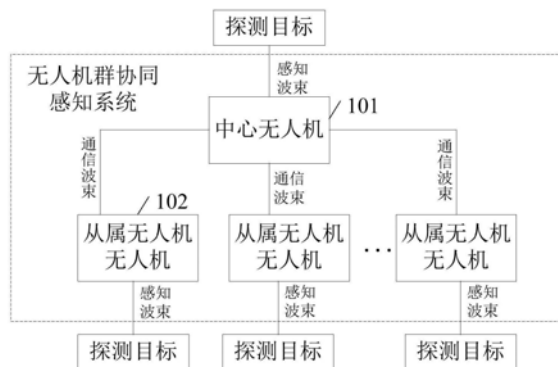
权利要求书3页 说明书14页 附图5页

(54)发明名称

一种无人机群协同感知系统和方法

(57)摘要

本发明实施例提供了一种无人机群协同感知系统和方法,系统包括:一个中心无人机和多个从属无人机;中心无人机是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;中心无人机通过中心无人机的通信波束广播握手发起帧,握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;针对各个从属无人机,该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收广播握手发起帧,并解析广播握手发起帧,得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;该从属无人机根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据;在该从属无人机对应的通信时隙内将感知数据发送至中心无人机。如此,能够提高频谱资源利用率。



CN 110401932 B

1. 一种无人机群协同感知系统,其特征在于,所述系统包括:

一个中心无人机和多个从属无人机;所述中心无人机是所述无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;所述中心无人机是无人机群协同感知系统中各个无人机交互推举信息而根据所述推举信息确定的,所述推举信息包括标识信息、可用计算资源信息、位置信息和运动状态信息;

各个从属无人机位于以所述中心无人机为圆心,以最大协同半径 x_Q 为半径的圆内;

$$\text{其中, } x_Q = \left[\frac{g_c(1-\beta_R)P \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\varepsilon) \right]^2}{2(1+K)N \left(2^{\frac{MV_{data}}{B(1-\varepsilon)}} - 1 \right)} \right]^{1/\alpha}, \beta_R \text{ 为感知功率分配比, } P \text{ 为总可用功率,}$$

g_c 为通信波束增益, Q^{-1} 为 $Q(p_1, p_2)$ 关于 p_2 参数的反函数, $Q(p_1, p_2)$ 为一阶Marcum Q函数, B 为带宽, M 为从属无人机的个数, N 为通信噪声功率, ε 为中断概率门限, α 为路径损耗系数, K 为莱斯因子, V_{data} 为感知数据的产生速率;

所述中心无人机通过所述中心无人机的通信波束广播握手发起帧,其中,所述握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;

针对各个从属无人机,该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收所述广播握手发起帧,并解析所述广播握手发起帧,得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据;所述通信波束和所述感知波束互相正交,其中, $g = \frac{26000}{\Delta\theta \cdot \Delta\phi}$, g 为

波束增益, g 为通信波束增益 g_c 或者感知波束增益 g_r , $\Delta\theta$ 为波束的水平波束宽度, $\Delta\theta$ 为所述通信波束的水平波束宽度 θ_{ch} ,或者为所述感知波束的水平波束宽度 θ_{rh} , $\Delta\phi$ 为波束的垂直波束宽度, $\Delta\phi$ 为所述通信波束的垂直波束宽度 ϕ_{cv} ,或者为所述感知波束的垂直波束宽度 ϕ_{rv} ;在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述无人机群协同感知系统中的各个无人机分别广播该无人机对应的推举信息,所述推举信息包括该无人机对应的标识信息、可用计算资源信息、位置信息和运动状态信息;所述无人机群协同感知系统中的无人机包括所述中心无人机和所述多个从属无人机。

3. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,针对各个从属无人机,该从属无人机与所述中心无人机的通信容量大于等于该从属无人机产生所述感知数据的产生速率。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述中心无人机将所述中心无人机的感知数据,与各个从属无人机发送至所述中心无人机的感知数据进行融合。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,针对所述无人机群协同感知系统中的各个无人机,该无人机的天线阵列通过波束成形技术产生互相正交的通信波束和感知波束。

6. 一种无人机群协同感知方法,其特征在于,所述方法包括:

中心无人机通过所述中心无人机的通信波束广播握手发起帧,其中,所述握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;所述中心无人机是无人机群

协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机；所述中心无人机是无人机群协同感知系统中各个无人机交互推举信息而根据所述推举信息确定的，所述推举信息包括标识信息、可用计算资源信息、位置信息和运动状态信息；

各个从属无人机位于以所述中心无人机为圆心，以最大协同半径 x_Q 为半径的圆内；

$$\text{其中, } x_Q = \left[\frac{g_c(1-\beta_R)P \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\varepsilon) \right]^2}{2(1+K)N \left(2^{\frac{MV_{data}}{B(1-\varepsilon)}} - 1 \right)} \right]^{1/\alpha}, \beta_R \text{ 为感知功率分配比, } P \text{ 为总可用功率,}$$

g_c 为通信波束增益, Q^{-1} 为 $Q(p_1, p_2)$ 关于 p_2 参数的反函数, $Q(p_1, p_2)$ 为一阶Marcum Q函数, B 为带宽, M 为从属无人机的个数, N 为通信噪声功率, ε 为中断概率门限, α 为路径损耗系数, K 为莱斯因子, V_{data} 为感知数据的产生速率；

针对各个从属无人机, 该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收所述广播握手发起帧, 并解析所述广播握手发起帧, 得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息；该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据；所述通信波束和所述感知波束互相正交, 其中, $g = \frac{26000}{\Delta\theta \cdot \Delta\phi}$, g 为

波束增益, g 为通信波束增益 g_c 或者感知波束增益 g_r , $\Delta\theta$ 为波束的水平波束宽度, $\Delta\theta$ 为所述通信波束的水平波束宽度 θ_{ch} , 或者为所述感知波束的水平波束宽度 θ_{rh} , $\Delta\phi$ 为波束的垂直波束宽度, $\Delta\phi$ 为所述通信波束的垂直波束宽度 ϕ_{cv} , 或者为所述感知波束的垂直波束宽度 ϕ_{rv} ；在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 在所述在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机之后, 所述方法还包括：

所述中心无人机将所述中心无人机的感知数据, 与各个从属无人机发送至所述中心无人机的感知数据进行融合。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 在所述该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据之前, 所述方法还包括：

接收所述中心无人机发送的广播结束标志帧；

所述该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据, 包括：

在接收到所述广播结束标志帧后, 该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据。

9. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机之前, 所述方法还包括：

该从属无人机将该从属无人机对应的位置信息和运动方向信息附加至所述感知数据中, 得到附加数据；

所述在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机, 包括：

在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述附加数据发送至所述中心无人机。

一种无人机群协同感知系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,特别是涉及一种无人机群协同感知系统和方法。

背景技术

[0002] 现有的无人机群间感知信息融合方案采用的是通信系统与感知系统相互独立的模式。具体地,感知系统与通信系统采用独立的射频天线,射频链路,数字处理设备 etc 系统设备。无人机群中的每个无人机均具有感知系统和通信系统。

[0003] 感知系统形成波束对周围环境进行感知,并在感知系统中的数据处理设备中进行感知数据处理,当需要将感知结果数据融合时,发送无人机的感知系统将感知结果数据通过内部传输链路传给该发送无人机的通信系统的发射端口,发送无人机的通信系统再将该感知结果数据发送给作为融合中心的接收无人机,融合中心的接收无人机接收到其他无人机发送的感知结果数据并与自身感知结果数据进行融合,融合后的结果数据用于无人机群决策等后续过程。

发明内容

[0004] 本发明实施例的目的在于提供一种无人机群协同感知系统和方法,以提高频谱资源利用率。具体技术方案如下:

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种无人机群协同感知系统,所述系统包括:

[0006] 一个中心无人机和多个从属无人机;所述中心无人机是所述无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;

[0007] 所述中心无人机通过所述中心无人机的通信波束广播握手发起帧,其中,所述握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;

[0008] 针对各个从属无人机,该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收所述广播握手发起帧,并解析所述广播握手发起帧,得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据;在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机。

[0009] 可选的,所述无人机群协同感知系统中的各个无人机分别广播该无人机对应的推举信息,所述推举信息包括该无人机对应的标识信息、可用计算资源信息、位置信息和运动状态信息;所述无人机群协同感知系统中的无人机包括所述中心无人机和所述多个从属无人机。

[0010] 可选的,各个从属无人机位于以所述中心无人机为圆心,以最大协同半径 x_0 为半径的圆内;

[0011] 其中, $x_Q = \left[\frac{g_c(1-\beta_R)P \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\varepsilon) \right]^2}{2(1+K)N \left(2^{\frac{MV_{data}}{B(1-\varepsilon)}} - 1 \right)} \right]^{1/\alpha}$, β_R 为感知功率分配比, P 为总可用功率,

g_c 为通信波束增益, Q^{-1} 为 $Q(p_1, p_2)$ 关于 p_2 参数的反函数, $Q(p_1, p_2)$ 为一阶Marcum Q函数, B 为带宽, M 为从属无人机的个数, N 为通信噪声功率, ε 为中断概率门限, α 为路径损耗系数, K 为莱斯因子, V_{data} 为感知数据的产生速率。

[0012] 可选的, 针对各个从属无人机, 该从属无人机与所述中心无人机的通信容量大于等于该从属无人机产生所述感知数据的产生速率。

[0013] 可选的, 所述中心无人机将所述中心无人机的感知数据, 与各个从属无人机发送至所述中心无人机的感知数据进行融合。

[0014] 可选的, 针对所述无人机群协同感知系统中的各个无人机, 该无人机的天线阵列通过波束成形技术产生互相正交的通信波束和感知波束。

[0015] 第二方面, 本发明实施例提供了一种无人机群协同感知方法, 所述方法包括:

[0016] 中心无人机通过所述中心无人机的通信波束广播握手发起帧, 其中, 所述握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息; 所述中心无人机是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;

[0017] 针对各个从属无人机, 该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收所述广播握手发起帧, 并解析所述广播握手发起帧, 得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息; 该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据; 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机。

[0018] 可选的, 在所述在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机之后, 所述方法还包括:

[0019] 所述中心无人机将所述中心无人机的感知数据, 与各个从属无人机发送至所述中心无人机的感知数据进行融合。

[0020] 可选的, 在所述该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据之前, 所述方法还包括:

[0021] 接收所述中心无人机发送的广播结束标志帧;

[0022] 所述该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据, 包括:

[0023] 在接收到所述广播结束标志帧后, 该从属无人机根据所述搜索运动方向信息运动, 并通过该从属无人机的感知波束进行感知, 得到感知数据。

[0024] 可选的, 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心无人机之前, 所述方法还包括:

[0025] 该从属无人机将该从属无人机对应的位置信息和运动方向信息附加至所述感知数据中, 得到附加数据;

[0026] 所述在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述感知数据发送至所述中心

无人机,包括:

[0027] 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的所述附加数据发送至所述中心无人机。

[0028] 本发明实施例提供的无人机群协同感知系统和方法,可以包括一个中心无人机和多个从属无人机;中心无人机是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;中心无人机通过中心无人机的通信波束广播握手发起帧,其中,握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;针对各个从属无人机,该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收广播握手发起帧,并解析广播握手发起帧,得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;该从属无人机根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据;在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机。本发明实施例中,无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备,无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程,通过通信波束实现通信过程,且每个从属无人机在该从属无人机对应的通信时隙内与中心无人机进行交互,如此使得在无人机群协同感知系统,可以共享频谱资源,提高频谱资源利用率。当然,实施本发明的任一产品或方法不一定需要同时达到以上的所有优点。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0030] 图1为本发明实施例提供的无人机群协同感知系统的结构示意图;

[0031] 图2为本发明实施例提供的无人机群协同感知场景示意图;

[0032] 图3为本发明实施例提供的通信波束的垂直波束宽度与感知波束的垂直波束宽度的示意图;

[0033] 图4为本发明实施例提供的时隙分配示意图;

[0034] 图5为本发明实施例提供的协同感知面积与感知功率分配比的关系示意图;

[0035] 图6为本发明实施例提供的协同感知面积与从属无人机的个数的关系示意图;

[0036] 图7为本发明实施例提供的协同感知面积与从属无人机的个数和感知功率分配比的关系示意图;

[0037] 图8为本发明实施例提供的无人机群协同感知方法的流程图;

[0038] 图9为本发明实施例提供的无人机群协同感知装置的结构示意图;

[0039] 图10为本发明实施例提供的电子设的结构示意图。

具体实施方式

[0040] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他

实施例,都属于本发明保护的范围。

[0041] 现有的无人机群间感知信息融合方案中,每个无人机均具有感知系统和通信系统。感知系统通过构成该感知系统的设备实现感知功能,通信系统通过构成该通信系统的设备实现通信功能,感知系统和通信系统分别利用各自的频谱资源,如此使得在实现无人机群感知的过程中,频谱资源利用率较低。

[0042] 过去三十年间无线通信技术迅猛发展,分配给无线通信的频谱不断向着高频段、大带宽发展。尤其是在毫米波频段开放之后,无线通信的频谱与分配给感知感知的频谱呈现越发明显的融合趋势。此外,随着数字信号处理技术的快速发展,感知系统和无线通信系统的模数转换器(Analog to Digital Converter,ADC/数模转换器(Digital to Analog Converter,DAC),以及数字处理器模块都不断前移,二者的系统结构越发相似。这些为感知系统与通信系统共用硬件设备、射频链路、频谱资源的感知、通信一体化提供了巨大的可能性。

[0043] 另一方面无人机集群是无人机技术的发展趋势,而无人机群协同感知在需要快速感知大面积区域的无人机群协同感知应用(如海上搜救,广域侦查等)中具有重要意义,在日益要求无人机载设备小型化,低能耗,高能效的趋势下,共用硬件设备、射频链路、频谱资源的感知、通信一体化具有很好的应用前景。

[0044] 本发明实施例提供了一种无人机群协同感知系统,以实现无人机群的感知、通信一体化,简单理解,也即通过一套设备同时实现感知、通信功能。如此,无人机群实现感知功能和通信功能共用频谱资源,如此能够提高频谱资源利用率。同时,感知过程与通信过程共用设备,为设备小型化提供有利条件,可以更方便地实现设备小型化。另外,避免了独立感知系统对独立通信系统的干扰。

[0045] 下面对本发明实施例提供的无人机群协同感知系统进行详细说明。

[0046] 本发明实施例提供了一种无人机群协同感知系统,如图1所示,该系统可以包括:

[0047] 一个中心无人机101和多个从属无人机102。中心无人机101是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机。其中,可用资源最丰富可以理解为可用计算资源最大。

[0048] 本发明实施例中,无人机群协同感知系统中的各个无人机分别广播该无人机对应的推举信息。无人机群协同感知系统中的无人机包括中心无人机101和多个从属无人机102。

[0049] 推举信息可以包括该无人机对应的标识信息,如唯一编码信息(Identification, ID)、可用计算资源信息、位置信息和运动状态信息。

[0050] 具体地,本发明实施例中,无人机群协同感知系统中各个无人机升空进入飞行平面后,可以以带冲突检测的载波监听多路访问技术(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection,CSMA/CD)对无人机群广播推举信息。

[0051] 如此,无人机群协同感知系统中各个无人机均可以得到包括该无人机以及除该无人机之外的其他无人机的推举信息。如此,可以确定可用计算资源最丰富的无人机为中心无人机101,除该中心无人机101之外的其他无人机为该中心无人机101对应的从属无人机102。具体地,各个无人机均对中心无人机101的归属达成共识,自行变更自身的工作模式为中心无人机101或者从属无人机102。

[0052] 中心无人机101通过中心无人机101的通信波束广播握手发起帧。

[0053] 其中,握手发起帧包括各个从属无人机102被分配的通信时隙和搜索运动方向信息。握手发起帧中还可以包括中心无人机101的位置信息和运动速度信息等。

[0054] 在中心无人机101广播结束前,各个从属无人机102始终保持监听状态。

[0055] 针对各个从属无人机102,该从属无人机102通过该从属无人机102的通信波束接收广播握手发起帧,并解析广播握手发起帧,得到该从属无人机102被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;该从属无人机102根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机102的感知波束进行感知,得到感知数据;在该从属无人机102对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机101。

[0056] 从属无人机102对感知目标进行感知,得到感知数据,感知目标也可以理解为探测目标,对感知目标进行感知,也可以理解为对从属无人机102探测区域内的探测目标进行探测,得到探测数据。

[0057] 本发明实施例中,中心无人机101对其探测区域内的探测目标进行探测,得到探测数据。

[0058] 各个从属无人机102接收到中心无人机101的握手发起帧之后,侦听并确认该从属无人机102被分配的通信时隙和运动方向信息。具体地,通信时隙可以包括时分多址(Time division multiple access, TDMA)通信时隙,运动方向信息用于指示该从属无人机102按照该运动方向信息中包含的运动方向进行飞行。

[0059] 本发明实施例中,无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备,无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程,通过通信波束实现通信过程,且每个从属无人机102在该从属无人机102对应的通信时隙内与中心无人机进行交互,如此使得在无人机群协同感知系统,可以共享频谱资源,提高频谱资源利用率。

[0060] 为实现通信、感知一体化,本发明实施例采用分波束的方式,具体地下面结果场景示意图进行详细介绍。

[0061] 本发明实施例提供了一种无人机群协同感知场景示意图,如图2所示。具体地,无人机群协同感知系统中所有无人机升空且组网完成后,所有无人机均分布在高为h的平面内进行感知且被无人机群感知的平面称为目标感知平面。无人机进行感知可以理解为针对探测目标进行感知,也可以理解为针对探测目标进行探测,得到感知数据,感知数据也可以理解为探测数据。

[0062] 具体地,无人机进行下视感知且将被无人机群下视感知的平面称为目标感知平面。无人机群由1个中心无人机(以下简称CU)和M个从属无人机(以下简称SU)构成。如图2中所示,无人机UAV₀为CU,无人机UAV₁、UAV₂、UAV₃、UAV₄和UAV₅无人机为CU的SU。CU负责接收所有从属无人机的感知数据,并且同时进行下视感知;SU负责进行区域下视感知且向CU传输自身的感知数据,以供CU融合无人机群中各个无人机的感知数据。

[0063] 为实现通信、感知一体化,本发明实施例采用分波束的方式。一种可选的实施例中,针对无人机群协同感知系统中的各个无人机,该无人机的天线阵列通过波束成形技术产生互相正交的通信波束和感知波束。

[0064] 具体地,每个无人机的天线阵列通过波束成形技术产生正交波束,其中,主瓣方向在无人机飞行平面内的波束负责通信数据传输,称为通信波束(以下可以简称为CB);另一

波束主瓣方向在飞行平面以下生成,负责感知对下方感知任务,称为感知波束(以下可以简称为RB)。主视图方向上的通信波束的垂直波束宽度与感知波束的垂直波束宽度的示意图如图3所示。通信波束的水平波束宽度为 θ_{ch} ,垂直波束宽度为 ϕ_{cv} ;感知波束的水平波束宽度和垂直波束宽度为 θ_{rh} 和 ϕ_{rv} 。根据三维波束宽度角与波束方向性增益间的关系式,可得到:

$$[0065] \quad g = \frac{26000}{\Delta\theta \cdot \Delta\phi} \quad (1.1)$$

[0066] 其中, g 为波束增益,可以包括通信波束增益 g_c ,或者也可以包括感知波束增益 g_r , $\Delta\theta$ 为波束的水平波束宽度,可以为通信波束的水平波束宽度 θ_{ch} ,或者可以为感知波束的水平波束宽度 θ_{rh} , $\Delta\phi$ 为波束的垂直波束宽度,可以为通信波束的垂直波束宽度 ϕ_{cv} ,或者可以为感知波束的垂直波束宽度 ϕ_{rv} 。

[0067] 通信波束功率 P_c 和感知波束功率 P_r 共用通信、感知一体化设备的总可用功率 P ,感知波束功率占总可用功率的比率为 β_r ,则感知波束功率 $P_r = P\beta_r$,通信波束功率 $P_c = (1 - \beta_r)P$ 。为了简便,称 β_r 为感知功率分配比。

[0068] 本发明实施例中,所有无人机的通信、感知一体化设备的感知波束和通信波束均使用同一段频谱。感知过程使用多脉冲方式,感知波束接收信号采用相干融合接收的方式。无人机群中SU与CU的通信多址方式为TDMA方式。为满足通信的可靠性,无人机的CB水平波束宽度为 2π ,且无人机的通信波束主瓣方向在无人机飞行水平面内,如此,感知、通信功能将因不受发送和接收机通信波束在水平面内对准精度的影响而更加稳定。

[0069] 本发明实施例中,感知、通信一体化可以应用干扰拒绝技术(Interference Rejection)消除多脉冲感知之间的共道干扰的影响。可以采用最小方差波束成形算法形成正交的通信波束与感知波束。通信波束与感知波束正交,即感知波束在通信方向上的波束增益为趋近于0的极小值且通信波束在感知方向上的波束增益也为接近于0的极小值。

[0070] 本发明实施例基于分波束的方式结合干扰拒绝方式、正交波束成形方式实现通信、感知一体化。

[0071] 为了可以使中心无人机利用包括中心无人机以及各个从属无人机的感知数据,本发明一种可选的实施例中,中心无人机可以将中心无人机的感知数据,与各个从属无人机发送至中心无人机的感知数据进行融合。

[0072] 本发明一种可选的实施例中,针对各个从属无人机,该从属无人机与中心无人机的通信容量大于等于该从属无人机产生感知数据的产生速率。也可以理解为中心无人机成功融合该从属无人机的感知数据的条件。

[0073] 本发明实施例中,中心无人机与从属无人机的通信方式为TDMA方式且为了保证所有无人机的通信公平性,本发明实施例提供了一种时隙分配示意图,如图4所示。

[0074] τ_{cmax_i} 表示从属无人机 i 的通信时隙长度,如 τ_{cmax_1} 、 τ_{cmax_2} ,且 M 个从属无人机的通信时隙长度均为 τ_{cmax} ,除 τ_{cmax_1} 、 τ_{cmax_2} ,其他的 $M-2$ 架从属无人机的通信时隙总长为 $(M-2)\tau_{cmax}$ 。 τ_{det_i} 为无人机的感知时长,如 τ_{det_1} 、 τ_{det_2} ,所有 $M+1$ 个无人机(包括一架中心无人机和 M 架从属无人机)的感知时长均为 τ_{det} 。以SU $_i$ 与CU的感知数据融合过程为例,在 τ_{cmax_i} 通信时隙里,无人机SU $_i$ 应当完成在之前 τ_{det} 感知时间内感知到的感知数据向中心无人机的传输;否则超出 τ_{cmax_i} 时长后,SU $_i$ 与CU之间的通信将与SU $_{i+1}$ 与CU的通信过程冲突。所以,当SU $_i$ 的数

据融合过程在 τ_{cmax_i} 通信时隙内完成之后将释放信道, SU_{i+1} 等待接入时隙 $\tau_{\text{cmax}_{(i+1)}}$ 的到来,如此循环往复。当 SU_i 的数据融合过程在 τ_{cmax_i} 时隙内完成之后再经历 $\tau_{\text{det}}-\tau_{\text{cmax}}$ 时长,又将进入 τ_{cmax_i} 时隙。显然,在保证无人机通信公平性的情形下,有 $\tau_{\text{cmax}} \leq (\tau_{\text{det}}/M)$ 成立。

[0075] 基于感知数据融合成功条件的假设,可以得到以下结论:SU与CU间感知数据融合成功条件为每架从属无人机与中心无人机之间的通信容量大于或等于M倍的单个无人机的感知数据的产生速率。推导如下:在需要满足感知时效性的情况下, τ_{det} 为很小的值,因此 τ_{cmax} 亦为很小的值,因此可以假设 SU_i 在 τ_{cmax} 时隙内与中心无人机的相对位置几乎不变,设 SU_i 与CU间的欧几里得距离为 x_i ,那么,在无人机群空中环境下, SU_i 与CU间的通信容量 T_c 可以表示为与 x_i 相关的函数 $T_c(x_i)$ 。单个无人机的感知数据的产生速率为 V_{data} ,在 τ_{det} 时间内的感知数据量即为 $V_{\text{data}} \times \tau_{\text{det}}$,由 SU_i 与CU间的感知数据融合时间小于最大通信时长 τ_{cmax} ,则有:

$$[0076] \quad \frac{V_{\text{data}} \times \tau_{\text{det}}}{T_c(x_i)} \leq \frac{\tau_{\text{det}}}{M} \quad (1.2)$$

[0077] 所以, SU_i 与CU间感知数据融合成功条件为:

$$[0078] \quad T_c(x_i) \geq M \times V_{\text{data}} \quad (1.3)$$

[0079] 考虑到无线通信的收发节点间距离越远通信容量越小, x_i 应有满足感知数据融合成功条件的上限值,记此值为 x_Q 。所以无人机群协同感知系统应使得所有SU均满足感知数据融合成功条件,因此所有 SU_i 均应部署在以CU为圆心,以 x_Q 为半径的圆内。将此圆区域称为最大协同区域,此半径 x_Q 称为最大协同半径。合理假设M架SU在最大协同区域内服从二维均匀分布,即在不同时刻的M+1个无人机的位置服从独立同分布的二维均匀分布。

[0080] 各个从属无人机位于以中心无人机为圆心,以最大协同半径 x_Q 为半径的圆内;

$$[0081] \quad \text{其中, } x_Q = \left[\frac{g_c(1-\beta_R)P \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\epsilon) \right]^2}{2(1+K)N \left(2^{\frac{MV_{\text{data}}}{B(1-\epsilon)}} - 1 \right)} \right]^{1/\alpha}, \beta_R \text{为感知功率分配比, } P \text{为总可用功}$$

率, g_c 为通信波束增益, Q^{-1} 为 $Q(p_1, p_2)$ 关于 p_2 参数的反函数, $Q(p_1, p_2)$ 为一阶Marcum Q函数, B 为带宽, M 为从属无人机的个数, N 为通信噪声功率, ϵ 为中断概率门限, α 为路径损耗系数, K 为莱斯因子, V_{data} 为感知数据的产生速率。

[0082] 本发明实施例中,采用相干融合接收的多脉冲感知模式的感知最大感知距离 R_{max} ,也即 $R_{\text{max}}(\beta_R)$ 为:

$$[0083] \quad R_{\text{max}}(\beta_R) = \left(\frac{\beta_R P G_t G_r (c/f)^2 \sigma n_p}{(4\pi)^3 (SNR)_{\text{min}} k T_0 F_n B L_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1.4)$$

[0084] 其中, β_R 为感知功率分配比, P 为总可用功率, G_t, G_r 分别为感知波束发射增益和感知波束接收增益, c 为光速, f 为载波频率, σ 为感知反射截面积, n_p 为感知脉冲重复数, $(SNR)_{\text{min}}$ 为感知的接收信噪比的最小值, k 为玻尔兹曼常数其值为: 1.38×10^{23} 焦耳/开尔文。 T_0 为290开尔文, F_n 为接收机噪声系数, B 为带宽, L_s 为发射机、接收机和传播过程中的能量损

耗。

[0085] 每一个无人机在感知平面上的感知半径 R_d 为:

$$[0086] \quad R_d = \sqrt{(R_{\max})^2 - h^2} \times [u(R_{\max} - h)] \quad (1.5)$$

[0087] 其中, $u(x)$ 是单位阶跃函数,当 $x > 0$ 时, $u(x) = 1$,否则, $u(x) = 0$ 。

[0088] 假设一个正在与CU进行感知数据融合的SU $_i$ 到CU的距离为 R_i ,则两个无人机之间,即SU $_i$ 到CU之间的感知重叠面积将为:

$$[0089] \quad S_{oi}(R_i) = \left[2R_d^2 \arccos\left(\frac{R_i}{2R_d}\right) - R_d \sqrt{R_d^2 - \left(\frac{R_i}{2}\right)^2} \right] u(2R_d - R_i) \quad (1.6)$$

[0090] 容易得到两个无人机之间的协同感知面积即两个无人机的感知面积的并集 S_{u1} ,也即 $S_{u1}(R_i)$:

$$[0091] \quad S_{u1}(R_i) = 2S(R_d) - S_{oi}(R_i) \quad (1.7)$$

[0092] 其中, $S(R_d) = \pi R_d^2$ 为每个无人机在被感知平面的感知面积。计算 S_{u1} 关于 R_i 的期望作为SU $_i$ 与CU协同感知性能指标。根据前述M架SU无人机满足二维均匀分布的配置, $f_{R_i}(r) = 2r / x_Q^2$ 且SU距离CU的最大值应为 x_Q 。

$$[0093] \quad E_S(x_Q) = \int_0^{x_Q} f_{R_i}(r) S_{u1}(r) dr \quad (1.8)$$

[0094] 上式的闭式解为:

$$[0095] \quad E_S(x_Q) = \begin{cases} 2\pi R_d^2 + F(x_Q), & x_Q < 2R_d \\ 2\pi R_d^2 - \frac{\pi R_d^4}{x_Q^2}, & x_Q > 2R_d \end{cases} \quad (1.9)$$

[0096] 其中,

$$[0097] \quad \begin{aligned} F(x_Q) = & 0.5R_d^2 x_Q^{-1} \sqrt{4R_d^2 - x_Q^2} + 0.25x_Q \sqrt{4R_d^2 - x_Q^2} \\ & + 2R_d^4 x_Q^{-2} \operatorname{arccot}\left(\frac{\sqrt{4R_d^2 - x_Q^2}}{x_Q}\right) - 2R_d^2 \arccos\left(0.5 \frac{x_Q}{R_d}\right) \\ & - 4R_d^4 x_Q^{-2} \arcsin(0.5x_Q R_d^{-1}) \end{aligned}$$

[0098] 无人机群协同感知系统由M架SU与一架CU组成。考虑到M个均匀随机分布的圆形感知区域的并集的数学期望没有闭式解,非常难以应用。采用一种可以得到闭式解的M架SU与一架CU的协同感知面积上界作为无人机群协同感知系统的感知协同感知性能指标。求解此上界的方法为:在计算M个SU与CU的感知面积并集时只考虑减去各个SU与CU的面积交集。

$$\begin{aligned}
& \overline{S}_u(M) \\
[0099] \quad & = E_{\mathbf{R}} \left\{ \sum_{i=1}^M [S_{u1}(R_i) - S(R_d)] \right\} + S(R_d) \quad (1.10) \\
& = M \times E_S(x_Q) - (M-1)S(R_d),
\end{aligned}$$

[0100] 其中, \mathbf{R} 为向量 (R_1, R_2, \dots, R_M) , R_i 为 SU_i 到 CU 的距离。

[0101] 再考虑到整个无人机群协同感知系统能够协同感知到的最远的目标位于距离 CU 为 $\sqrt{(x_Q + R_d)^2 + h^2}$ 的位置。如图2中 UAV_4 所示。由此容易得知, 无人机群协同感知系统的最大协同感知面积为:

$$[0102] \quad \overline{S}_{\max} = \pi(x_Q + R_d)^2 \quad (1.11)$$

[0103] 所以, 综合以上求解, 无人机群协同感知系统的感知协同感知性能指标 \overline{S}_{CDA} 为:

$$[0104] \quad \overline{S}_{CDA}(M) = \min(\overline{S}_u(M), \overline{S}_{\max}(M)) \quad (1.12)$$

[0105] 以无人机群协同感知系统的通信容量作为无人机群协同感知系统的通信性能指标。首先建立通信信道模型, 无人机之间的通信链路模型为莱斯信道模型。无人机的通信波束的发射功率为 P_c , 无人机接收到的期望信号的功率为 $P_0 = P_c g_c h_c x_0^{-\alpha}$, 其中, $g_c = g_{tc} \times g_{rc}$ 即为发射波束增益与接收波束增益的乘积, 其中, 波束增益可以通过 (1.1) 式求得。 h_c 为莱斯衰落因子, 服从如下式的莱斯分布。

$$[0106] \quad f_{h_c}(w) = \frac{(K+1)e^{-K}}{\overline{\Omega}} e^{-\frac{(K+1)w}{\overline{\Omega}}} I_0 \left(2\sqrt{\frac{K(K+1)w}{\overline{\Omega}}} \right) \quad (1.13)$$

[0107] 其中, K 是莱斯因子, $\overline{\Omega} = 2\sigma^2 + \nu^2$ 是多径反射功率 $2\sigma^2$ 与 ν^2 的和功率, 这里归一化为 1, $f_{h_c}(w)$ 是 h_c 的概率密度函数值, w 是表示 h_c 的概率密度函数值时所用的临时变量符号, 是概率论表示的常用手段。

[0108] 计算无人机群协同感知的中断容量作为通信性能指标。中断概率 $P_c^{out}(x_0)$ 可以表示为:

$$[0109] \quad P_c^{out}(x_0) = \Pr\left(\frac{P_0}{N} < \gamma\right) = \Pr\left(h_c < \frac{\gamma N}{P_c g_c} x_0^\alpha\right) \quad (1.14)$$

[0110] 式 (1.14) 的解为:

$$[0111] \quad P_c^{out}(x_0, \gamma) = 1 - Q\left(\sqrt{2K}, \sqrt{\frac{2\gamma(1+K)x_0^\alpha N}{g_c P_c}}\right) \quad (1.15)$$

[0112] 其中, $Q(p_1, p_2)$ 为一阶 Marcum Q 函数, x_0 为正在进行通信传输的 SU 到 CU 的距离, γ 为通信中断门限, 即当信号与干扰加噪声比 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR) 大于等于 γ 时, 称为成功传输; 否则, 称为传输中断。

[0113] 中断容量可以表示为:

[0114] $T_c(x_0) = B(1-\varepsilon) \log(1 + \gamma_{\min})$ (1.16)

[0115] 其中, γ_{\min} 为满足中断概率 $P_c^{out}(x_0) \leq \varepsilon$ 的最小通信中断门限值。

[0116] 结合式 (1.14)、(1.15) 和 (1.16), 可以求得:

[0117] $T_c(x_0) = B(1-\varepsilon) \log \left(1 + \frac{g_c P_c \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\varepsilon) \right]^2}{2(1+K)x_0^\alpha N} \right)$ (1.17)

[0118] Q^{-1} 为 $Q(p_1, p_2)$ 关于 p_2 参数的反函数。结合 (1.15) 和 (1.16) 求得最大协同半径 x_Q 为:

[0119] $x_Q = \left[\frac{g_c(1-\beta_R)P \left[Q^{-1}(\sqrt{2K}, 1-\varepsilon) \right]^2}{2(1+K)N \left(2^{\frac{MV_{data}}{B(1-\varepsilon)}} - 1 \right)} \right]^{1/\alpha}$ (1.18)

[0120] 结合式 (1.10)、(1.11)、(1.12) 和 (1.18) 可以计算基于无人机群协同感知系统的协同感知性能。

[0121] 本发明一种可选的实施例中, 为了提高基于无人机群协同感知系统的协同感知性能, 如使得平均协同感知面积最大, 具体地使得 \bar{S}_{CDA} 达到最大值。本发明实施例中, 从属无人机的个数以及感知功率分配比影响 \bar{S}_{CDA} , 可以通过调整从属无人机的个数以及感知功率分配比使得 \bar{S}_{CDA} 达到最大值, 且可以将时 \bar{S}_{CDA} 达到最大值从属无人机的个数以及感知功率分配比分别称为最优从属无人机数 M_{opt} 和最优感知功率分配比 β_{ropt} , 具体地, $(M_{opt}, \beta_{ropt}) = \arg \max_{(M, \beta)} \bar{S}_{CDA}(M)$ 。

[0122] 本发明实施例还进行了仿真实验。具体地, 根据表1所列的参数, 无人机群协同感知系统, 且通过该无人机群感知系统实行感知任务, 并对各个无人机得到的感知数据进行融合。

[0123] 表1

| | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|--------|
| [0124] 感知总功率 P | 1000 W | 无人机飞行高度 h | 1000 m |
| 通信噪声功率 N | 1×10^{-8} W | 路径损耗系数 α | 2.6 |
| 感知发射波束增益 G_t | 1000 | 中断概率门限 ε | 0.1 |
| 感知接收波束增益 G_r | 1000 | 载波频率 f | 10 GHz |

| | | | | |
|--------|---------------|------------|-------------------------|---------|
| [0125] | 通信波束增益 g_c | 52 | 反射截面积 σ | 1 m^2 |
| | 感知脉冲重复数 n_p | 15 | 接收机最小允许信噪比 SNR_{\min} | 13 dB |
| | 接收机噪声系数 F_n | 10 | 接收机带宽 B | 100 MHz |
| | 感知数据的产生速率 | 735.6 KB/s | 能量损耗 L_s | 1 |

[0126] 仿真实验得到的仿真结果如图5、图6以及图7所示。图5为协同感知面积与感知功率分配比的关系示意图，图5中横坐标为感知功率分配比，纵坐标为协同感知面积，图5中包括从属无人机的个数M分别为5、25、45、65时的理论结果和仿真结果；图6为协同感知面积与从属无人机的个数的关系示意图，图6中横坐标为从属无人机的个数，纵坐标为协同感知面积，图6中包括感知功率分配比 B_R 分别为0.25、0.5、0.75、0.95的理论值和仿真值；图7为协同感知面积与从属无人机的个数和感知功率分配比的关系示意图。

[0127] 通过仿真实验可知，本发明实施例中，无人机群协同感知系统的性能随着从属无人机的个数以及感知功率分配比而变化，如此，可以通过调整从属无人机的个数以及感知功率分配比而使无人机群感知系统实现不同的感知性能，可以调整最优从属无人机的个数以及最优感知功率分配比使无人机群感知系统的感知性能最好。

[0128] 本发明提出的基于多波束的通信、感知一体化无人机群协同感知系统，具有共用硬件设备、射频链路、频谱资源的优势。共用硬件设备将为设备小型化提供极大的便利，感知系统和通信系统共享频谱资源可以极大提高频谱利用率，共享射频天线端口、数据链路、射频处理器和数据存储器可以支持通信信号与感知信号的等电压数量级处理。

[0129] 独立的感知系统的发射信号的功率常常高达几百瓦甚至上千瓦，并且带外杂散可达瓦量级。然而独立的通信系统的接收信号功率通常只有毫瓦量级。因此独立的通信系统往往会受到独立的感知系统的强烈干扰。本发明实施例中，通信、感知一体化避免了功率之间的差异对通信系统的干扰，提高无人机群协同感知系统中的通信性能。

[0130] 本发明实施例还提供了一种无人机群协同感知方法，如图8所示，可以包括：

[0131] S801，中心无人机通过中心无人机的通信波束广播握手发起帧。

[0132] 其中，握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息；中心无人机是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机。

[0133] S802，针对各个从属无人机，该从属无人机通过该从属无人机的通信波束接收广播握手发起帧，并解析广播握手发起帧，得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息。

[0134] S803，该从属无人机根据搜索运动方向信息运动，并通过该从属无人机的感知波束进行感知，得到感知数据。

[0135] S804，在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机。

[0136] 本发明实施例中，无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备，无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程，通过通信波束实现通信过程，且每个从属无人机在该从属无人机对应的通信时隙内与中心无人机进行交互，如此使得在无人机群协同感知系统，可以共享频谱资源，提高频谱资源利用率。

[0137] 可选的,在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机之后,方法还包括:

[0138] 中心无人机将中心无人机的感知数据,与各个从属无人机发送至中心无人机的感知数据进行融合。

[0139] 可选的,在该从属无人机根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据之前,方法还包括:

[0140] 接收中心无人机发送的广播结束标志帧;

[0141] 该从属无人机根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据,包括:

[0142] 在接收到广播结束标志帧后,该从属无人机根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据。

[0143] 可选的,在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机之前,方法还包括:

[0144] 该从属无人机将该从属无人机对应的位置信息和运动方向信息附加至感知数据中,得到附加数据;

[0145] 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机,包括:

[0146] 在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的附加数据发送至中心无人机。

[0147] 对应于上述实施例提供的无人机群协同感知方法,本发明实施例还提供了一种无人机群协同感知装置,如图9所示,可以包括:

[0148] 中心无人机包括广播模块901。

[0149] 从属无人机包括:第一接收模块902、解析模块903,感知模块904和发送模块905。

[0150] 广播模块901,用于通过中心无人机的通信波束广播握手发起帧,其中,握手发起帧包括各个从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;中心无人机是无人机群协同感知系统中可用计算资源最丰富的无人机;

[0151] 针对各个从属无人机,第一接收模块902,用于通过该从属无人机的通信波束接收广播握手发起帧;

[0152] 解析模块903,用于解析广播握手发起帧,得到该从属无人机被分配的通信时隙和搜索运动方向信息;

[0153] 感知模块904,用于根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据;

[0154] 发送模块905,用于在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的感知数据发送至中心无人机。

[0155] 本发明实施例中,无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备,无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程,通过通信波束实现通信过程,且每个从属无人机在该从属无人机对应的通信时隙内与中心无人机进行交互,如此使得在无人机群协同感知系统,可以共享频谱资源,提高频谱资源利用率。

[0156] 可选的,中心无人机还包括融合模块,用于将中心无人机的感知数据,与各个从属无人机发送至中心无人机的感知数据进行融合。

[0157] 可选的,该装置中从属无人机还包括:

[0158] 第二接收模块,用于接收中心无人机发送的广播结束标志帧;

[0159] 感知模块904,具体用于在接收到广播结束标志帧后,根据搜索运动方向信息运动,并通过该从属无人机的感知波束进行感知,得到感知数据。

[0160] 可选的,该装置中从属无人机还包括:附加模块,用于将该从属无人机对应的位置信息和运动方向信息附加至感知数据中,得到附加数据;

[0161] 发送模块905,具体用于在该从属无人机对应的通信时隙内将得到的附加数据发送至中心无人机。

[0162] 本发明实施例还提供了一种电子设备,如图10所示,包括处理器1001、通信接口1002、存储器1003和通信总线1004,其中,处理器1001,通信接口1002,存储器1003通过通信总线1004完成相互间的通信。

[0163] 存储器1003,用于存放计算机程序;

[0164] 处理器1001,用于执行存储器1003上所存放的程序时,实现上述无人机群协同感知方法的方法步骤。

[0165] 本发明实施例中,无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备,无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程,通过通信波束实现通信过程,且每个从属无人机在该从属无人机对应的通信时隙内与中心无人机进行交互,如此使得在无人机群协同感知系统,可以共享频谱资源,提高频谱资源利用率。

[0166] 上述电子设备提到的通信总线可以是外设部件互连标准(Peripheral Component Interconnect,PCI)总线或扩展工业标准结构(Extended Industry Standard Architecture,EISA)总线等。该通信总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示,图中仅用一条粗线表示,但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

[0167] 通信接口用于上述电子设备与其他设备之间的通信。

[0168] 存储器可以包括随机存取存储器(Random Access Memory,RAM),也可以包括非易失性存储器(Non-Volatile Memory,NVM),例如至少一个磁盘存储器。可选的,存储器还可以是至少一个位于远离前述处理器的存储装置。

[0169] 上述的处理器可以是通用处理器,包括中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、网络处理器(Network Processor,NP)等;还可以是数字信号处理器(Digital Signal Processing,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。

[0170] 对应于上述实施例,本发明实施还提供了一种计算机可读存储介质,计算机可读存储介质内存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行上述无人机群协同感知方法的方法步骤。

[0171] 本发明实施例中,无需为感知过程与传输感知数据的通信过程分别部署独立的设备,无人机群协同感知系统中无人机通过感知波束实现感知过程,通过通信波束实现通信过程,且每个从属无人机在该从属无人机对应的通信时隙内与中心无人机进行交互,如此使得在无人机群协同感知系统,可以共享频谱资源,提高频谱资源利用率。

[0172] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在

在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0173] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其，对于装置、设备及存储介质实施例而言，由于其基本相似于方法实施例，所以描述的比较简单，相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0174] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均包含在本发明的保护范围内。

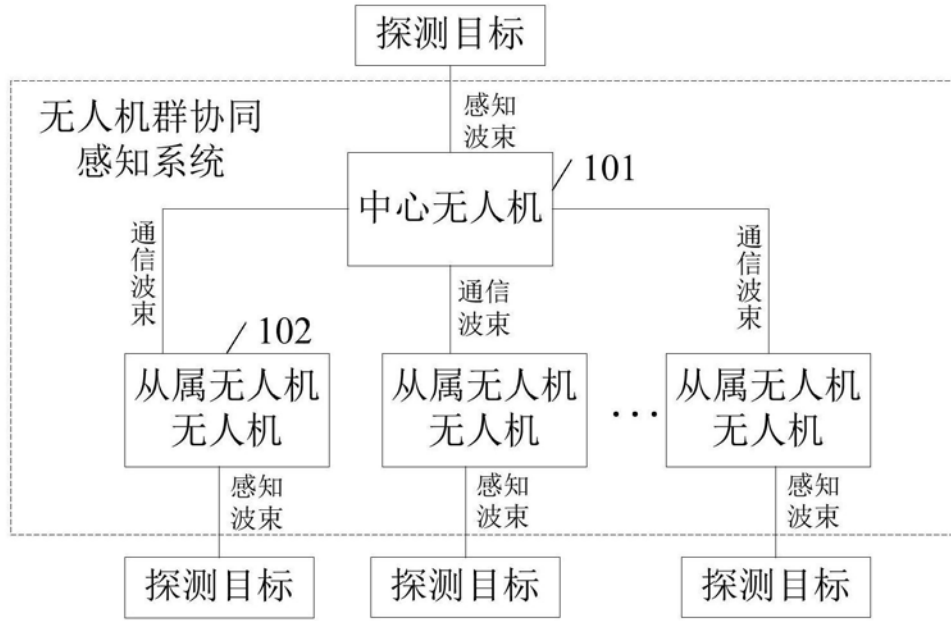


图1

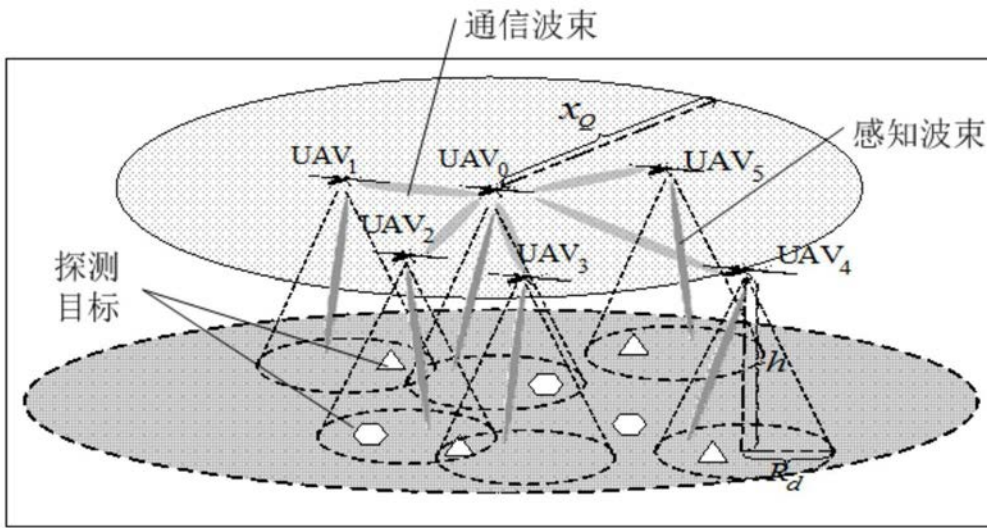


图2

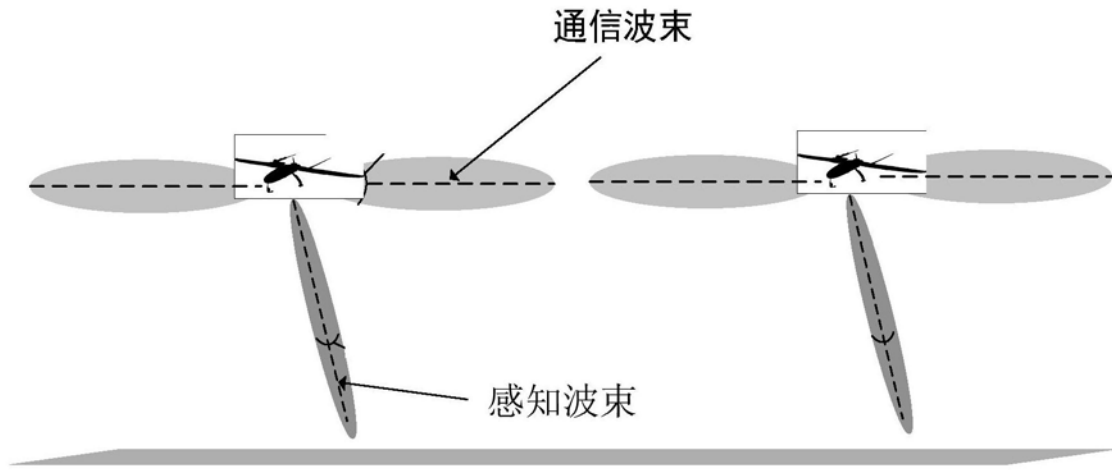


图3

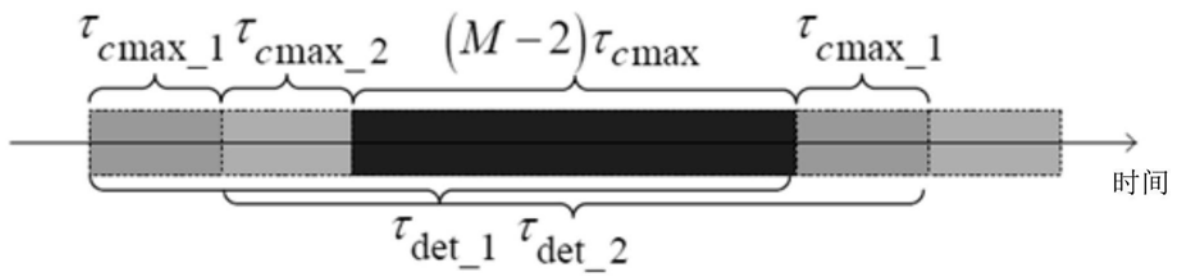


图4

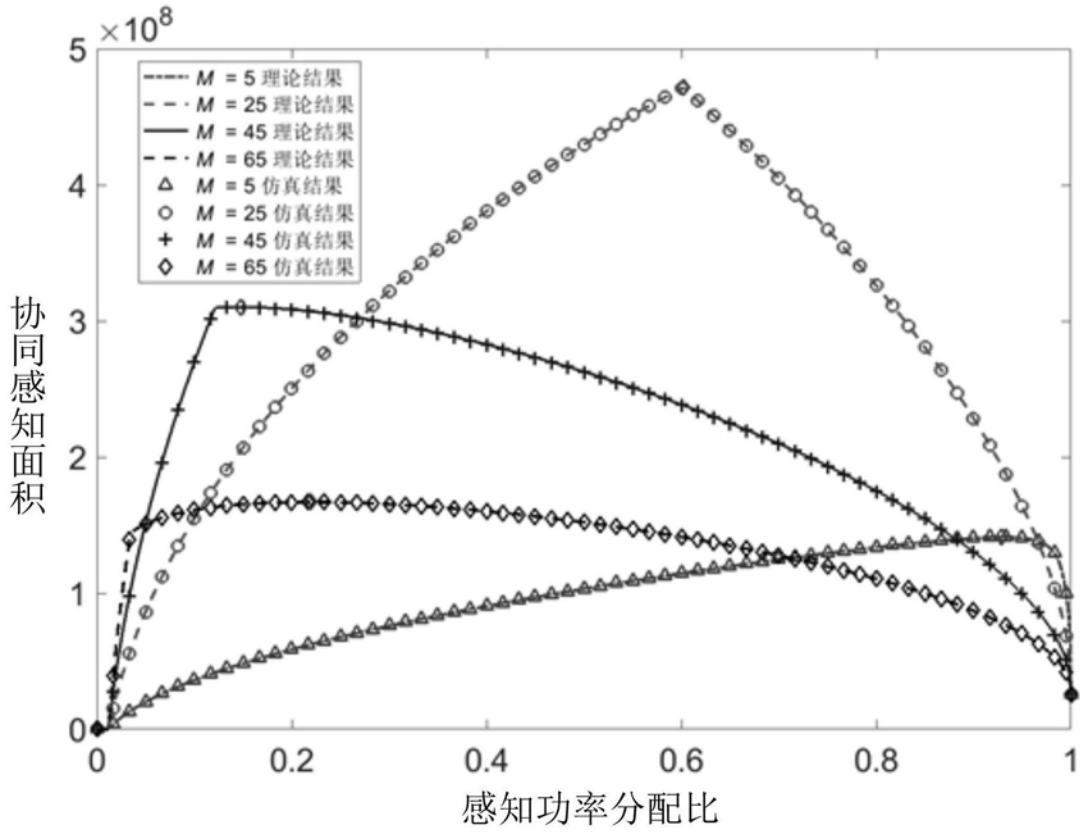


图5

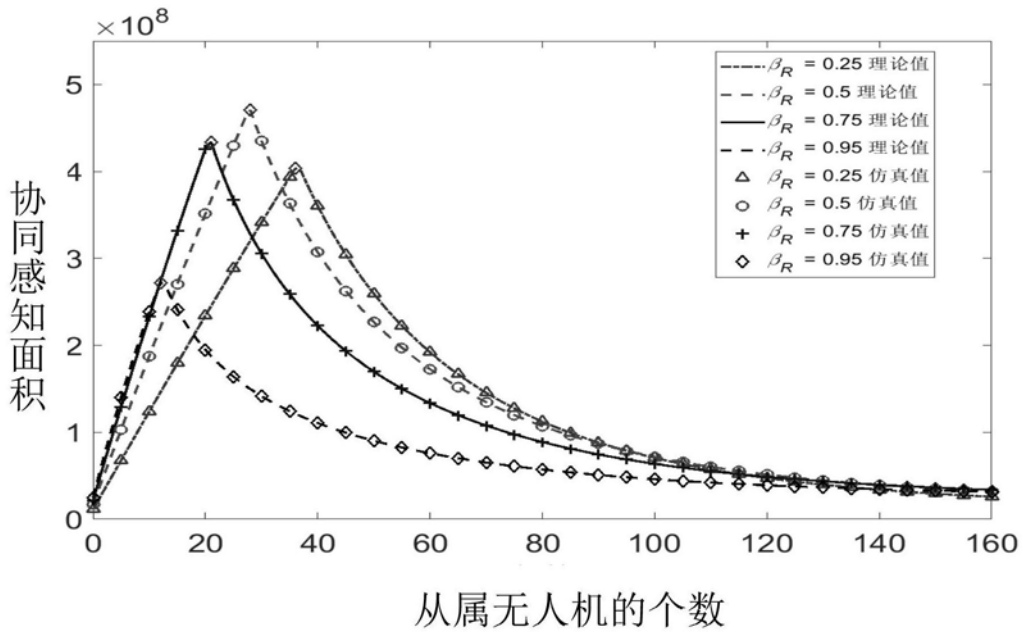


图6

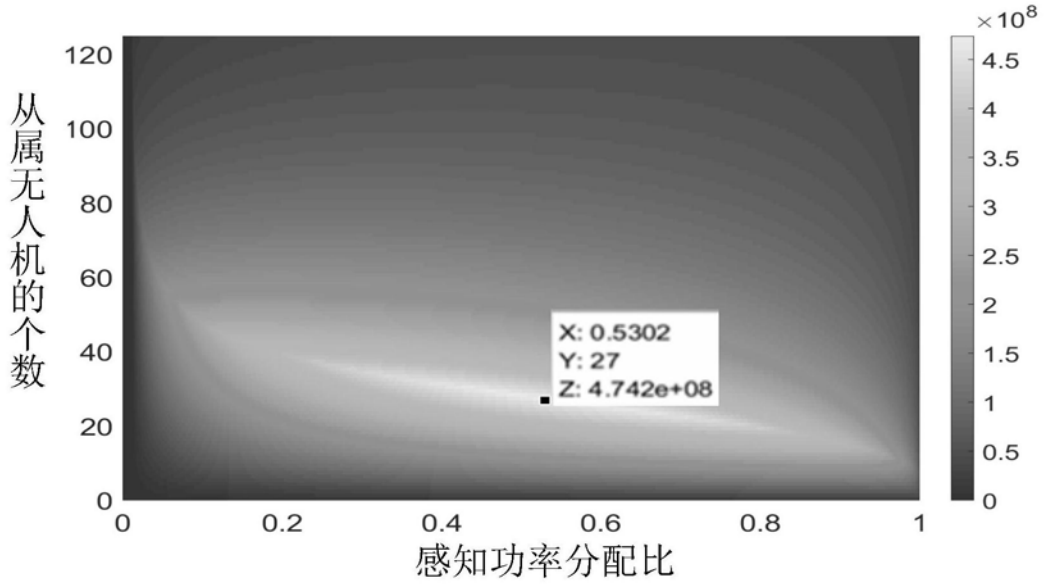


图7

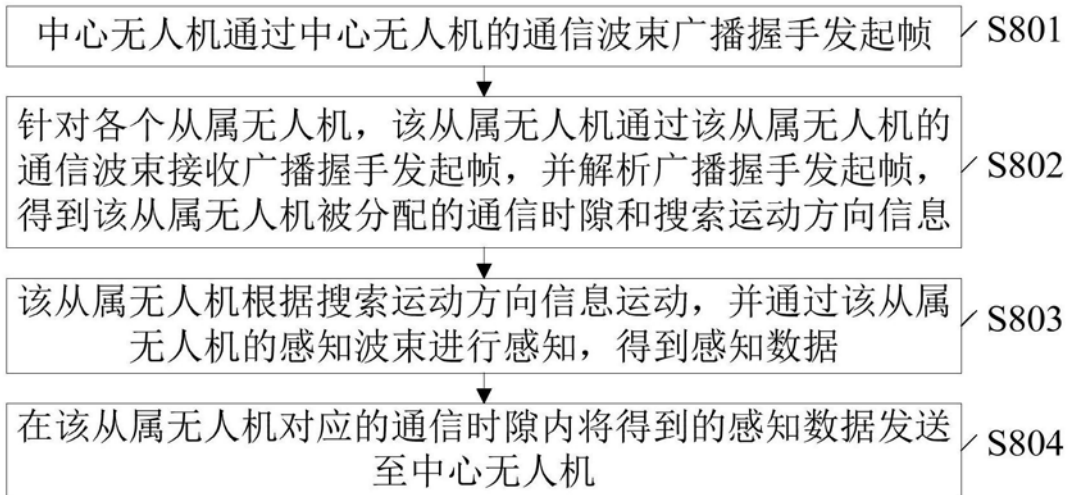


图8

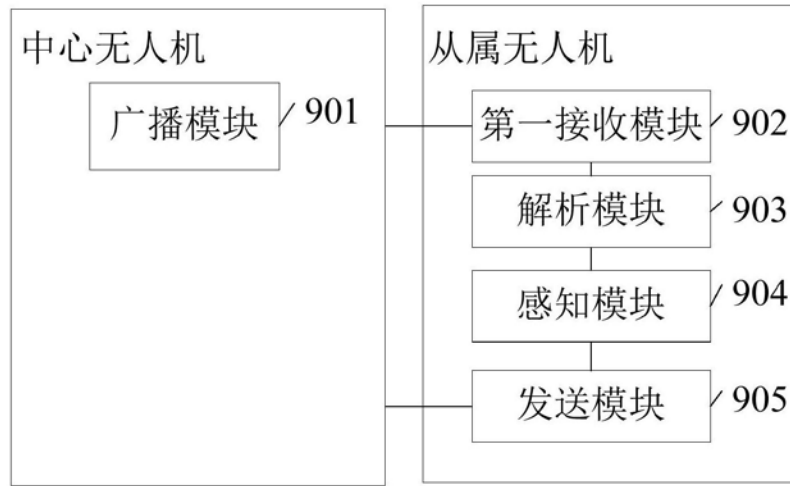


图9

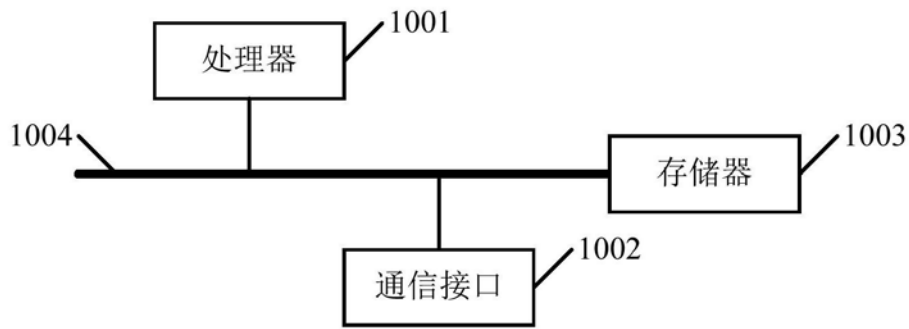


图10