



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112986901 B

(45) 授权公告日 2021.10.15

(21) 申请号 202110508680.8

(22) 申请日 2021.05.11

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112986901 A

(43) 申请公布日 2021.06.18

(73) 专利权人 上海特金信息科技有限公司

地址 201203 上海市浦东新区中国(上海)

自由贸易试验区郭守敬路498号14幢

22301-331座

(72) 发明人 黄超 黎秋媚 姜化京

(74) 专利代理机构 上海慧晗知识产权代理事务

所(普通合伙) 31343

代理人 徐海晟

(51) Int. Cl.

G01S 3/14 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110058202 A, 2019.07.26

US 8878725 B2, 2014.11.04

审查员 白俊龙

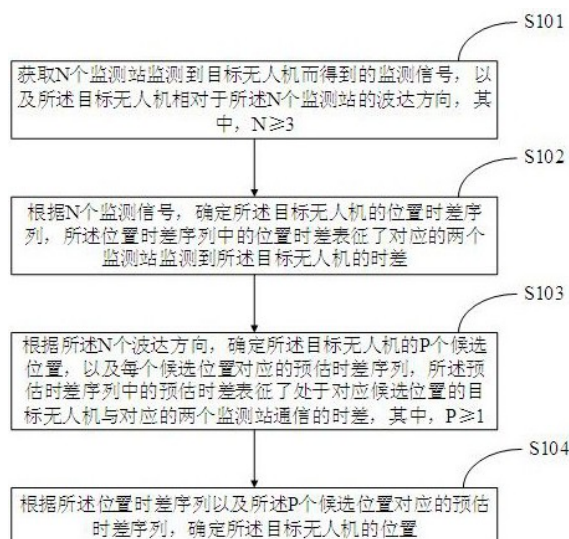
权利要求书5页 说明书13页 附图8页

## (54) 发明名称

基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置

## (57) 摘要

本发明提供了一种基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置,其中的定位方法,包括:获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向;根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差;根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的目标无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中,  $P \geq 1$ ;根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置。



1. 一种基于空间谱测向和TDOA的定位方法,其特征在于,包括:

获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;所述监测信号是根据所述波达方向,对所述监测站的天线阵列接收到的所述目标无人机的接收信号进行相位补偿而得到的;

根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差;

根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置;

根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,包括:

根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的候选区域;

在所述候选区域中,确定所述P个候选位置;

根据所述P个候选位置以及所述N个监测站的位置,确定每个候选位置对应的预估时差序列。

2. 根据权利要求1所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法,其特征在于,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中, $M \geq 1$ 。

3. 根据权利要求2所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法,其特征在于,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,每个阵元的权值是根据以下公式确定的:

$$w_m = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta};$$

式中,

$\lambda$ 表示所述监测信号的波长;

$m$ 表示第 $m$ 个天线阵元,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

$d$ 表示所述天线阵列的阵元间距;

$\theta$ 表示第 $n$ 个监测站的波达方向,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

$w_m$ 表示第 $m$ 个天线阵元的权值。

4. 根据权利要求2所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法,其特征在于,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,所述监测信号是根据以下公式确定的:

$$s_m(t) = s(t) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta};$$

$$X(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t) w_m^*;$$

式中，

$x(t)$  表示所述监测信号；

$s_m$  表示第  $m$  个阵元的接收信号，其中  $1 \leq m \leq M$ ；

$s(t)$  表示第  $n$  个监测站接收到的信号，其中  $1 \leq n \leq N$ ；

$w_m^*$  表示第  $m$  个天线阵元权值  $w_m$  的共轭复数。

5. 根据权利要求1所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，根据  $N$  个监测信号，确定所述目标无人机的位置时差序列，包括：

针对于任意两个监测信号，利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。

6. 根据权利要求1所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，根据所述  $N$  个波达方向，确定所述目标无人机的候选区域，包括：

根据所述  $N$  个波达方向，确定交汇区域，所述目标无人机处于所述交汇区域；

根据所述交汇区域，确定所述候选区域，所述候选区域包括所述交汇区域。

7. 根据权利要求6所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，所述交汇区域的不同边缘匹配于不同监测站的波达方向。

8. 根据权利要求1所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，在所述候选区域中，确定所述  $P$  个候选位置，包括：

将所述候选区域划分为  $P$  个方格，确定每个方格的中心为一个候选位置。

9. 根据权利要求1所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，根据所述位置时差序列以及所述  $P$  个候选位置对应的预估时差序列，确定所述目标无人机的位置，包括：

确定所述位置时差序列与所述  $P$  个预估时差序列的差异信息；

根据所述差异信息确定所述目标无人机的位置。

10. 根据权利要求9所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，确定所述位置时差序列与所述  $P$  个预估时差序列的差异信息，包括：

根据预设的损失函数，计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。

11. 根据权利要求10所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法，其特征在于，所述损失函数包括以下至少之一：

$$loss1 = \sum_{ij}^M |\Delta T d_{ij} - \Delta T d'_{ij}|;$$

$$loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta T d_{ij} - \Delta T d'_{ij})^2;$$

式中，

$loss1$  表示第一损失函数的损失值；

$loss2$  表示第二损失函数的损失值；

$\Delta T d_{ij}$  表示第  $i$  个监测站和第  $j$  个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量，其中， $1$

$1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N;$

$\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第p个网格中心时无人机与第i个监测站与第j个监测站进行通信的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

12.一种基于空间谱测向和TDOA的定位系统,其特征在于,包括上位机、N个监测站,每个监测站可接收所述目标无人机的接收信号,并测得每个接收信号相对于监测站的波达方向,

所述上位机用于执行权利要求1至11任一项所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

13.一种基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,包括:

信号及方向获取模块,用于获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;所述监测信号是根据所述波达方向,对所述监测站的天线阵列接收到的所述目标无人机的接收信号进行相位补偿而得到的;

位置时差计算模块,用于根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差;

预估时差计算模块,用于根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

无人机定位模块,用于根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置;

所述预估时差计算模块包括:

候选区域确定单元,用于根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的候选区域;

候选位置确认单元,用于在所述候选区域中,确定所述P个候选位置;

预估时差计算单元,用于根据所述P个候选位置以及所述N个监测站的位置,确定每个候选位置对应的预估时差序列。

14.根据权利要求13所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中, $M \geq 1$ 。

15.根据权利要求14所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,每个阵元的权值是根据以下公式确定的:

$$w_m = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta};$$

式中,

$\lambda$ 表示所述监测信号的波长;

$m$ 表示第m个天线阵元,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

$d$ 表示所述天线阵列的阵元间距;

$\theta$ 表示第n个监测站的波达方向,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

$w_m$ 表示第m个天线阵元的权值。

16. 根据权利要求14所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,所述监测信号是根据以下公式确定的:

$$s_m(t) = s(t)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta};$$

$$x(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t)w_m^*;$$

式中,

$x(t)$  表示所述监测信号;

$s_m$  表示第m个阵元的接收信号,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

$s(t)$  表示第n个监测站接收到的信号,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

$w_m^*$  表示第m个天线阵元权值 $w_m$ 的共轭复数。

17. 根据权利要求13所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述位置时差计算模块具体用于:

针对于任意两个监测信号,利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。

18. 根据权利要求13所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述候选区域确定单元,具体用于:

根据所述N个波达方向,确定交汇区域,所述目标无人机处于所述交汇区域,所述交汇区域的不同边缘匹配于不同监测站的波达方向;

根据所述交汇区域,确定所述候选区域,所述候选区域包括所述交汇区域。

19. 根据权利要求18所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述候选位置确认单元具体用于:

将所述候选区域划分为P个方格,确定每个方格的中心为一个候选位置。

20. 根据权利要求13所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述无人机定位模块包括:

差异信息获取单元,用于确定所述位置时差序列与所述P个预估时差序列的差异信息;

位置确定单元,用于根据所述差异信息确定所述目标无人机的位置。

21. 根据权利要求20所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述差异信息获取单元,具体用于:

根据预设的损失函数,计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。

22. 根据权利要求21所述的基于空间谱测向和TDOA的定位装置,其特征在于,所述损失函数包括以下至少之一:

$$loss1 = \sum_{ij}^N |\Delta T d_{ij} - \Delta T d'_{ij}|;$$

$$loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij})^2;$$

式中,

$loss1$ 表示第一损失函数的损失值;

$loss2$ 表示第二损失函数的损失值;

$\Delta Td_{ij}$ 表示第*i*个监测站和第*j*个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N$ ;

$\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第*p*个网格中心时无人机与第*i*个监测站与第*j*个监测站进行通信的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

23. 一种电子设备,其特征在于,包括处理器与存储器,

所述存储器,用于存储代码和相关数据;

所述处理器,用于执行所述存储器中的代码用以实现权利要求1至11任一项所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

24. 一种存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现权利要求1至11任一项所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

## 基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无人机技术领域,尤其涉及一种基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置。

### 背景技术

[0002] 无人驾驶飞机简称无人机,是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机,或者由车载计算机完全地或间歇地自主地操作,目前在航拍、农业、植保、微型自拍、快递运输、灾难救援、观察野生动物、监控传染病、测绘、新闻报道、电力巡检、救灾、影视拍摄、制造浪漫等等领域均有广泛的应用。随着无人机广泛应用,全球无人机市场规模的进一步扩大,民用无人机市场潜力巨大,必将向更广阔的领域推广,但对于无人机的定位技术还不够无法达到需求。

[0003] TDOA(Time Difference of Arrival,到达时间差)定位是一种利用时间差进行定位的方法。通过测量信号到达两两监测站的时间差,就能确定信号的位置;虽然TDOA定位系统定位精度较高,但定位精度易受设备及天线接收能力的影响。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置,以解决无人机定位不稳定问题。

[0005] 根据本发明的第一方面,提供了一种基于空间谱测向和TDOA的定位方法,包括:

[0006] 获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;

[0007] 根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差;

[0008] 根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

[0009] 根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置。

[0010] 可选的,所述监测信号是对所述监测站的天线阵列接收到的所述目标无人机的接收信号进行相位补偿而得到的。

[0011] 可选的,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中, $M \geq 1$ 。

[0012] 可选的,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵每个阵元的权值是根据以下公式确定的:

[0013] 
$$w_m = e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta};$$

[0014] 式中,

[0015]  $\lambda$ 表示所述监测信号的波长;

[0016]  $m$ 表示第 $m$ 个天线阵元,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

[0017]  $d$ 表示所述天线阵列的阵元间距;

[0018]  $\theta$ 表示第 $n$ 个监测站的波达方向,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

[0019]  $w_m$ 表示第 $m$ 个天线阵元的权值。

[0020] 可选的,每个天线阵列的 $M$ 个阵元为等距线阵,所述监测信号是根据以下公式确定的:

[0021] 
$$s_m(t) = s(t)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta};$$

[0022] 
$$x(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t)w_m^*;$$

[0023] 式中,

[0024]  $x(t)$ 表示所述监测信号;

[0025]  $s_m$ 表示第 $m$ 个阵元的接收信号,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

[0026]  $s(t)$ 表示第 $n$ 个监测站接收到的信号,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

[0027]  $w_m^*$ 表示第 $m$ 个天线阵元权值 $w_m$ 的共轭复数。

[0028] 可选的,根据 $N$ 个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,包括:

[0029] 针对于任意两个监测信号,利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。

[0030] 可选的,根据所述 $N$ 个波达方向,确定所述目标无人机的 $P$ 个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,包括:

[0031] 根据所述 $N$ 个波达方向,确定所述目标无人机的候选区域;

[0032] 在所述候选区域中,确定所述 $P$ 个候选位置;

[0033] 根据所述 $P$ 个候选位置以及所述 $N$ 个监测站的位置,确定每个候选位置对应的预估时差序列。

[0034] 可选的,根据所述 $N$ 个波达方向,确定所述目标无人机的候选区域,包括:

[0035] 根据所述 $N$ 个波达方向,确定交汇区域,所述目标无人机处于所述交汇区域;

[0036] 根据所述交汇区域,确定所述候选区域,所述候选区域包括所述交汇区域。

[0037] 可选的,所述交汇区域的不同边缘匹配于不同监测站的波达方向。

[0038] 可选的,在所述候选区域中,确定所述 $P$ 个候选位置,包括:

[0039] 将所述候选区域划分为 $P$ 个方格,确定每个方格的中心为一个候选位置。

[0040] 可选的,根据所述位置时差序列以及所述 $P$ 个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置,包括:

[0041] 确定所述位置时差序列与所述 $P$ 个预估时差序列的差异信息;



[0042] 根据所述差异信息确定所述目标无人机的位置。

[0043] 可选的,确定所述位置时差序列与所述P个预估时差序列的差异信息,包括:

[0044] 根据预设的损失函数,计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。

[0045] 可选的,所述损失函数包括以下至少之一:

$$[0046] \quad loss1 = \sum_{ij}^N |\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij}|;$$

$$[0047] \quad loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij})^2;$$

[0048] 式中,

[0049]  $loss1$ 表示第一损失函数的损失值;

[0050]  $loss2$ 表示第二损失函数的损失值;

[0051]  $\Delta Td_{ij}$ 表示第*i*个监测站和第*j*个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N$ ;

[0052]  $\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第*p*个网格中心时无人机与第*i*个监测站与第*j*个监测站进行通信的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

[0053] 根据本发明的第二方面,提供了一种基于空间谱测向和TDOA的定位系统,包括上位机、N个监测站,每个监测站可接收所述目标无人机的接收信号,并测得每个接收信号相对于监测站的波达方向,

[0054] 所述上位机用于执行本发明第一方面及其可选方案所涉及的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

[0055] 根据本发明的第三方面,提供了一种基于空间谱测向和TDOA的定位装置,包括:

[0056] 信号及方向获取模块,用于获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;

[0057] 位置时差计算模块,用于根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差;

[0058] 预估时差计算模块,用于根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

[0059] 无人机定位模块,用于根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置。

[0060] 可选的,所述监测信号是对所述监测站的天线阵列接收到的所述目标无人机的接收信号进行相位补偿而得到的。

[0061] 可选的,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中, $M \geq 1$ 。

[0062] 可选的,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,每个阵元的权值是根据以下公式确

定的：

$$[0063] \quad w_m = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta};$$

[0064] 式中，

[0065]  $\lambda$ 表示所述监测信号的波长；

[0066]  $m$ 表示第 $m$ 个天线阵元，其中 $1 \leq m \leq M$ ；

[0067]  $d$ 表示所述天线阵列的阵元间距；

[0068]  $\theta$ 表示第 $n$ 个监测站的波达方向，其中 $1 \leq n \leq N$ ；

[0069]  $w_m$ 表示第 $m$ 个天线阵元的权值。

[0070] 可选的，每个天线阵列的 $M$ 个阵元为等距线阵，所述监测信号是根据以下公式确定的：

$$[0071] \quad s_m(t) = s(t) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta};$$

$$[0072] \quad x(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t) w_m^*;$$

[0073] 式中，

[0074]  $x(t)$ 表示所述监测信号；

[0075]  $s_m$ 表示第 $m$ 个阵元的接收信号，其中 $1 \leq m \leq M$ ；

[0076]  $s(t)$ 表示第 $n$ 个监测站接收到的信号，其中 $1 \leq n \leq N$ ；

[0077]  $w_m^*$ 表示第 $m$ 个天线阵元权值 $w_m$ 的共轭复数。

[0078] 可选的，所述位置时差计算模块具体用于：

[0079] 针对于任意两个监测信号，利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。

[0080] 可选的，所述预估时差计算模块包括：

[0081] 候选区域确定单元，用于根据所述 $N$ 个波达方向，确定所述目标无人机的候选区域；

[0082] 候选位置确认单元，用于在所述候选区域中，确定所述 $P$ 个候选位置；

[0083] 预估时差计算单元，用于根据所述 $P$ 个候选位置以及所述 $N$ 个监测站的位置，确定每个候选位置对应的预估时差序列。

[0084] 可选的，所述候选区域确定单元，具体用于：

[0085] 根据所述 $N$ 个波达方向，确定交汇区域，所述目标无人机处于所述交汇区域，所述交汇区域的不同边缘匹配于不同监测站的波达方向；

[0086] 根据所述交汇区域，确定所述候选区域，所述候选区域包括所述交汇区域。

[0087] 可选的，所述候选位置确认单元具体用于：

[0088] 将所述候选区域划分为 $P$ 个方格，确定每个方格的中心为一个候选位置。

[0089] 可选的，所述无人机定位模块包括：

[0090] 差异信息获取单元,用于确定所述位置时差序列与所述P个预估时差序列的差异信息;

[0091] 位置确定单元,用于根据所述差异信息确定所述目标无人机的位置。

[0092] 可选的,所述差异信息获取单元,具体用于:

[0093] 根据预设的损失函数,计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。

[0094] 可选的,所述损失函数包括以下至少之一:

$$[0095] \quad loss1 = \sum_{ij}^N |\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij}|;$$

$$[0096] \quad loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij})^2;$$

[0097] 式中,

[0098]  $loss1$ 表示第一损失函数的损失值;

[0099]  $loss2$ 表示第二损失函数的损失值;

[0100]  $\Delta Td_{ij}$ 表示第*i*个监测站和第*j*个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N$ ;

[0101]  $\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第*p*个网格中心时无人机与第*i*个监测站与第*j*个监测站进行通信的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

[0102] 根据本发明的第四方面,提供了一种电子设备,包括处理器与存储器,

[0103] 所述存储器,用于存储代码和相关数据;

[0104] 所述处理器,用于执行所述存储器中的代码用以实现本发明第一方面及其可选方案所涉及的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

[0105] 根据本发明的第五方面,提供了一种存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现本发明第一方面及其可选方案所涉及的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

[0106] 本发明提供的基于空间谱测向和TDOA的定位方法、系统、装置,根据监测站监测到的监测信号及其波达方向,并结合TDOA定位方法,得到位置时差序列以及P个预估时差序列,进而根据位置时差序列以及P个预估时差序列进行精确定位,利用监测站的监测信号,减小监测站因其天线的接受能力而对TDOA定位精度的影响,提升基于空间谱测向和TDOA的定位系统对弱信号的检测能力以及定位精度。

[0107] 本发明的可选的方案中,对目标无人机的接收信号进行相位补偿,从而完成对目标无人机接收信号进行加权求和的重构,得到监测信号,充分利用监测站的空间复用增益。

[0108] 本发明的可选方案中,通过计算选取的候选位置与目标无人机位置的时差序列的损失值,进而得到更加精确地目标无人机的位置。

## 附图说明

[0109] 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性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0110] 图1是本发明一实施例中基于空间谱测向和TDOA的定位方法的流程示意图;
- [0111] 图2是本发明一实施例中天线阵列接收信号的示意图;
- [0112] 图3是本发明一实施例中步骤S102的流程示意图;
- [0113] 图4是本发明一实施例中步骤S103的流程示意图;
- [0114] 图5是本发明一实施例中步骤S1031的流程示意图;
- [0115] 图6是本发明一实施例中步骤S1032的流程示意图;
- [0116] 图7是本发明一实施例中基于空间谱测向和TDOA的定位方法的作用原理示意图;
- [0117] 图8是本发明一实施例中步骤S104的流程示意图;
- [0118] 图9是本发明一实施例中步骤S1041的流程示意图;
- [0119] 图10是本发明一实施例中基于空间谱测向和TDOA的定位系统的结构示意图;
- [0120] 图11是本发明一实施例中基于空间谱测向和TDOA的定位装置的程序模块示意图;
- [0121] 图12是本发明一实施例中预估时差计算模块303的程序模块示意图;
- [0122] 图13是本发明一实施例中无人机定位模块304的程序模块示意图;
- [0123] 图14是本发明一实施例中电子设备的构造示意图。

### 具体实施方式

[0124] 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。

[0125] 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等(如果存在)是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0126] 下面以具体地实施例对本发明的技术方案进行详细说明。下面这几个具体的实施例可以相互结合,对于相同或相似的概念或过程可能在某些实施例不再赘述。

[0127] 本发明实施例所提供的定位无人机控制端的处理方法、装置可应用于任意对具有数据处理能力的终端或服务器,其可以为TDOA定位设备的一部分,也可以是与TDOA定位设备直接或间接通讯的终端或服务器。

[0128] 请参考图1,基于空间谱测向和TDOA的定位方法,包括:

[0129] S101:获取N个监测站监测到目标无人机而得到的监测信号,以及所述目标无人机相对于所述N个监测站的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;

[0130] S102:根据N个监测信号,确定所述目标无人机的位置时差序列,所述位置时差序

列中的位置时差表征了对应的两个监测站监测到所述目标无人机的时差；

[0131] S103:根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

[0132] S104:根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机的位置。

[0133] 其中的位置时差表征的是,对应的两个监测站监测到的目标无人机的实际位置的时差,是以其中一个监测站监测到目标无人机实际位置的时间为基准,计算另一个监测站监测到目标无人机实际位置的时间差异;由于共有N个监测站,进而可以得知位置时差序列中共有 $N*(N-1)/2$ 个位置时差。

[0134] 其中的候选位置表征了目标无人机可能存在的位置,预估时差序列是根据候选位置的位置信息与监测站的在位置信息,预估若目标无人机处于该候选位置与对应的两个监测站能进行通信的时差,通信可以是从小候选位置发出信号,也可以是监测站发出信号,同时,此处的通信不一定为实际通信,可根据信号在空间中的传输模型,通过计算得到预估时差。

[0135] 其中的位置时差序列可以表示为:

$$[0136] \quad \Delta Td = [\Delta Td_{ij}];$$

[0137] 式中:

[0138]  $\Delta Td$ :位置时差序列;

[0139]  $\Delta Td_{ij}$ 表示第i个监测站和第j个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N$ 。

[0140] 其中的任意一预估时差序列可以表示为:

$$[0141] \quad \Delta Td' = [\Delta Td'_{ij}];$$

[0142] 式中,

[0143]  $\Delta Td'$ :预估时差序列;

[0144]  $\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第p个网格中心时无人机与第i个监测站与第j个监测站进行通信的时间差向量,其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

[0145] 请参考图2,其中的波达方向可理解为信号到达监测站的到达方向,可例如,目标无人机的接收信号的入射方向与监测站的天线阵列法线的夹角 $\theta$ 。

[0146] 一种实施例中,其中的监测站均为空间谱测向站,进而可以通过接收到的信号测出该信号的波达方向。

[0147] 一种实施方式中,所述监测信号是对所述监测站的天线阵列接收到的所述目标无人机的接收信号进行相位补偿而得到的。

[0148] 一种实施方式中,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中, $M \geq 1$ 。

[0149] 以上实施方式中,根据监测站的测向结果以及天线阵列的参数,对目标无人机的接收信号进行相位补偿,从而完成对目标无人机的接收信号进行加权求和的重构过程,进

而得到监测信号,充分地利用了监测站的空间复用增益。

[0150] 一种举例中,信号的重构是监测站根据自身对信号的测向结果以及其天线阵列参数完成的;一种举例中,信号的重建是上位机获取到监测站的测向结果以及监测站的天线阵列参数完成的。

[0151] 请参考图2,一种实施方式中,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,每个阵元的权值是根据以下公式确定的:

$$[0152] \quad w_m = e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta}; \quad (\text{公式1})$$

[0153] 式中,

[0154]  $\lambda$ 表示所述监测信号的波长;

[0155]  $m$ 表示第 $m$ 个天线阵元,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

[0156]  $d$ 表示所述天线阵列的阵元间距;

[0157]  $\theta$ 表示第 $n$ 个监测站的波达方向,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

[0158]  $w_m$ 表示第 $m$ 个天线阵元的权值。

[0159] 一种实施方式中,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,所述监测信号是根据以下公式确定的:

$$[0160] \quad s_m(t) = s(t)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta}; \quad (\text{公式2})$$

$$[0161] \quad x(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t)w_m^*; \quad (\text{公式3})$$

[0162] 式中,

[0163]  $x(t)$ 表示所述监测信号;

[0164]  $s_m$ 表示第 $m$ 个阵元的接收信号,其中 $1 \leq m \leq M$ ;

[0165]  $s(t)$ 表示第 $n$ 个监测站接收到的信号,其中 $1 \leq n \leq N$ ;

[0166]  $w_m^*$ 表示第 $m$ 个天线阵元权值 $w_m$ 的共轭复数。

[0167] 需要说明的是,以上实施方式中,只是以天线阵列的M个阵元为等距线阵为例,通过以上三个公式对接收信号进行加权求和,当天线阵列的M个阵元不是等距线阵时,本领域人员可根据实际情况对以上公式进行适应性改变,同样不脱离本发明的保护范围。

[0168] 下面结合图2,以天线阵列的M个阵元为等距线阵为例,对信号的重建进行详细阐述:

[0169] 两两阵元之间的间距为 $d$ ,信号到达第1个阵元会比到达第 $m$ 个阵元多走 $(m-1) * (d/\lambda) * \sin\theta$ ,进而,使得接收信号到达第 $m$ 个阵元与第1个阵元的相位产生差异,差异值为

$$e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)d\sin\theta}, \text{将此差异值作为第} m \text{个阵元的权值,求得} M \text{个阵元的权值,然后}$$

对每个阵元接收到的接收信号进行加权求和,即可得到重构后的监测信号。

- [0170] 请参考图3,一种实施方式中,步骤S102,包括:
- [0171] S1021:针对于任意两个监测信号,利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。
- [0172] 具体地,可例如,选取两个监测信号的相同时间段的信号,通过广义互相关算法计算选取的两个信号段的相关性,进而可以得到两个信号段的时差,此时差即为两个监测信号对应的两个监测站的位置时差。
- [0173] 请参考图4,一种实施方式中,步骤S103,包括:
- [0174] S1031:根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机的候选区域;
- [0175] S1032:在所述候选区域中,确定所述P个候选位置;
- [0176] S1033:根据所述P个候选位置以及所述N个监测站的位置,确定每个候选位置对应的预估时差序列。
- [0177] 请参考图5,一种实施方式中,步骤S1031,包括:
- [0178] S10311:根据所述N个波达方向,确定交汇区域,所述目标无人机处于所述交汇区域;
- [0179] S10322:根据所述交汇区域,确定所述候选区域,所述候选区域包括所述交汇区域。
- [0180] 步骤S10322中,候选区域包括交汇区域,可例如,候选区域仅包括所有交汇区域,又可例如,候选区域的一部分为交汇区域,还可例如,选取交汇区域的一部分作为候选区域。
- [0181] 一种实施方式中,所述交汇区域的不同边缘匹配于不同监测站的波达方向。
- [0182] 请参考图7,以上可以理解,根据不同的波达方向,在水平面上,从监测站延伸出的多条波达方向的线会进行相交,出现至少一个交点,选取部分或全部交点依次连接,得到的封闭图形为交汇区域,交汇区域的每个边缘沿不同波达方向的线。
- [0183] 一种举例中,交汇区域的不同边缘分别与不同波达方向的线重合,一种举例中,交汇区域的不同边缘分别平行于不同波达方向的线。
- [0184] 请参考图6,一种实施方式中,步骤S1032,包括:
- [0185] S10321:将所述候选区域划分为P个方格,确定每个方格的中心为一个候选位置。
- [0186] 一种举例中,P个方格的大小形状完全相同,一种举例中P个方格的大小形状不完全相同的方格。
- [0187] 请参考图7,一实施例中,N等于3,由第一监测站2031的波达方向的线 $l_1$ 、第二监测站2032的波达方向的线 $l_2$ 和第三监测站2033的波达方向的线 $l_3$ 可得到一个三角形的交汇区域R(图中阴影部分);
- [0188] 进而根据交汇区域R,确定一个宽为W,长为H的矩形区域,即候选区域REC,交汇区域R位于候选区域REC的中心;
- [0189] 将候选区域REC划分为P个边长为 $\Delta d$ 的方格,每个方格的中心为候选位置。
- [0190] 请参考图8,一种实施方式中,步骤S104,包括:
- [0191] S1041:确定所述位置时差序列与所述P个预估时差序列的差异信息;
- [0192] S1042:根据所述差异信息确定所述目标无人机的位置。
- [0193] 以上差异信息可理解为每个候选位置的预估时差序列与目标无人机的位置时差

序列之间的偏差,进而偏差最小的候选位置为目标无人机的位置,

[0194] 请参考图9,一种实施方式中,步骤S1041,包括:

[0195] S10411:根据预设的损失函数,计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。

[0196] 本发明的可选方案中,通过计算选取的候选位置与目标无人机位置的时差序列的损失值,进而得到更加精确地目标无人机的位置。

[0197] 一种实施方式中,所述损失函数包括以下至少之一:

$$[0198] \quad loss1 = \sum_{ij}^N |\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij}|; \quad (\text{公式4})$$

$$[0199] \quad loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta Td_{ij} - \Delta Td'_{ij})^2; \quad (\text{公式5})$$

[0200] 式中,

[0201]  $loss1$ 表示第一损失函数的损失值;

[0202]  $loss2$ 表示第二损失函数的损失值。

[0203] 本发明实施例提供的基于空间谱测向和TDOA的定位方法中,每个监测站均为空间谱测向站,该方法充分利用空间谱测向设备的空间复用增益,以及TDOA定位方法的高精度定位能力,提升了系统对弱信号的检测能力以及定位精度;每个监测站首先测出接收信号的波达方向,并且多个监测站的监测方向交汇得到测向区域;之后每个监测站根据自身测向结果和天线阵列参数重构接收信号;在此基础上系统利用重构的接收信号进行时差计算,并根据测向区域和时差进行精确的TDOA定位。

[0204] 请参考图10,一种基于空间谱测向和TDOA的定位系统2,包括上位机201、N个监测站203,每个监测站可接收所述目标无人机202的接收信号,并测得每个接收信号相对于监测站203的波达方向,

[0205] 所述上位机201用于执行本发明前文所述的基于空间谱测向和TDOA的定位方法。

[0206] 一种实施方式中,每个监测站包括一个天线阵列,每个天线阵列包括M个阵元。

[0207] 请参考图11,基于空间谱测向和TDOA的定位装置3,包括:

[0208] 信号及方向获取模块301,用于获取N个监测站203监测到目标无人机202而得到的监测信号,以及所述目标无人机202相对于所述N个监测站203的波达方向,其中, $N \geq 3$ ;

[0209] 位置时差计算模块302,用于根据N个监测信号,确定所述目标无人机202的位置时差序列,所述位置时差序列中的位置时差表征了对应的两个监测站203监测到所述目标无人机202的时差;

[0210] 预估时差计算模块303,用于根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机202的P个候选位置,以及每个候选位置对应的预估时差序列,所述预估时差序列中的预估时差表征了处于对应候选位置的无人机与对应的两个监测站203通信的时差,其中, $P \geq 1$ ;

[0211] 无人机定位模块304,用于根据所述位置时差序列以及所述P个候选位置对应的预估时差序列,确定所述目标无人机202的位置。

[0212] 其中的位置时差序列可以表示为:



[0213]  $\Delta Td = [\Delta Td_{ij}]$  ;

[0214] 式中:

[0215]  $\Delta Td$ :位置时差序列;

[0216]  $\Delta Td_{ij}$ 表示第i个监测站和第j个监测站监测到所述目标无人机的时间差向量,其中,  $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N$ 。

[0217] 其中的任意一预估时差序列可以表示为:

[0218]  $\Delta Td' = [\Delta Td'_{ij}]$ ;

[0219] 式中,

[0220]  $\Delta Td'$ :预估时差序列;

[0221]  $\Delta Td'_{ij}$ 表示处于第p个网格中心时无人机与第i个监测站与第j个监测站进行通信的时间差向量,其中,  $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N, 1 \leq p \leq P$ 。

[0222] 一种实施方式中,所述监测信号是对所述监测站203的天线阵列接收到的所述目标无人机202的接收信号进行相位补偿而得到的。

[0223] 一种实施方式中,所述监测信号具体是对所述天线阵列的M个阵元的接收信号进行加权求和而进行相位补偿的,其中,  $M \geq 1$ 。

[0224] 一种实施方式中,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,每个阵元的权值是根据以下公式确定的:

[0225] 
$$w_m = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta} ; \quad (\text{公式1})$$

[0226] 式中,

[0227]  $\lambda$ 表示所述监测信号的波长;

[0228]  $m$ 表示第m个天线阵元,其中  $1 \leq m \leq M$ ;

[0229]  $d$ 表示所述天线阵列的阵元间距;

[0230]  $\theta$ 表示第n个监测站的波达方向,其中  $1 \leq n \leq N$ ;

[0231]  $w_m$ 表示第m个天线阵元的权值。

[0232] 一种实施方式中,每个天线阵列的M个阵元为等距线阵,所述监测信号是根据以下公式确定的:

[0233] 
$$s_m(t) = s(t) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (m-1) d \sin \theta} ; \quad (\text{公式2})$$

[0234] 
$$x(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t) w_m^* ; \quad (\text{公式3})$$

[0235] 式中,

[0236]  $x(t)$ 表示所述监测信号;

[0237]  $s_m$ 表示第m个阵元的接收信号,其中  $1 \leq m \leq M$ ;

[0238]  $s(t)$ 表示第n个监测站接收到的信号,其中  $1 \leq n \leq N$ ;

- [0239]  $w_m^*$ 表示第m个天线阵元权值 $w_m$ 的共轭复数。
- [0240] 一种实施方式中,所述位置时差计算模块具体用于:
- [0241] 针对于任意两个监测信号,利用广义互相关算法计算所述两个监测信号的时差。
- [0242] 请参考图12,一种实施方式中,所述预估时差计算模块303包括:
- [0243] 候选区域确定单元3031,用于根据所述N个波达方向,确定所述目标无人机202的候选区域REC;
- [0244] 候选位置确认单元3032,用于在所述候选区域REC中,确定所述P个候选位置;
- [0245] 预估时差计算单元3033,用于根据所述P个候选位置以及所述N个监测站203的位置,确定每个候选位置对应的预估时差序列。
- [0246] 一种实施方式中,所述候选区域确定单元3031,具体用于:
- [0247] 根据所述N个波达方向,确定交汇区域R,所述目标无人机202处于所述交汇区域R;
- [0248] 根据所述交汇区域R,确定所述候选区域REC,所述候选区域REC包括所述交汇区域R。
- [0249] 一种实施方式中,所述交汇区域R的不同边缘匹配于不同监测站203的波达方向。
- [0250] 一种实施方式中,所述候选位置确认单元3032具体用于:
- [0251] 将所述候选区域REC划分为P个方格,确定每个方格的中心为一个候选位置。
- [0252] 请参考图13,一种实施方式中,所述无人机定位模块304包括:
- [0253] 差异信息获取单元3041,用于确定所述位置时差序列与所述P个预估时差序列的差异信息;
- [0254] 位置确定单元3042,用于根据所述差异信息确定所述目标无人机202的位置。
- [0255] 一种实施方式中,所述差异信息获取单元3041,具体用于:
- [0256] 根据预设的损失函数,计算所述位置时差序列与每个预估时差序列的损失值作为所述差异信息。
- [0257] 一种实施方式中,所述损失函数包括以下至少之一:

$$[0258] \quad loss1 = \sum_{ij}^N \left| \Delta T d_{ij} - \Delta T d'_{ij} \right| ; \quad (\text{公式4})$$

$$[0259] \quad loss2 = \sum_{ij}^N (\Delta T d_{ij} - \Delta T d'_{ij})^2 ; \quad (\text{公式5})$$

- [0260] 式中,
- [0261]  $loss1$ 表示第一损失函数的损失值;
- [0262]  $loss2$ 表示第二损失函数的损失值。
- [0263] 请参考图14,本发明还提供了一种电子设备40,包括
- [0264] 处理器41;以及,
- [0265] 存储器42,用于存储处理器的可执行指令;
- [0266] 其中,处理器41配置为经由执行可执行指令来执行以上所涉及的方法。
- [0267] 处理器41能够通过总线43与存储器42通讯。

[0268] 本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现以上所涉及的方法。

[0269] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

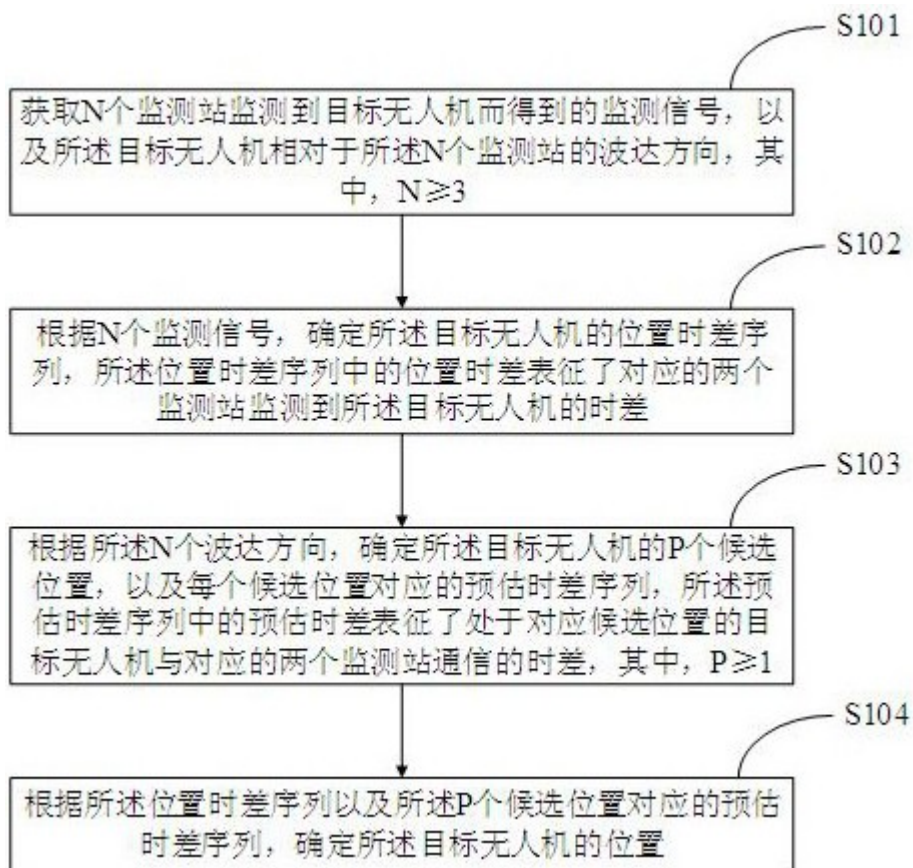


图1

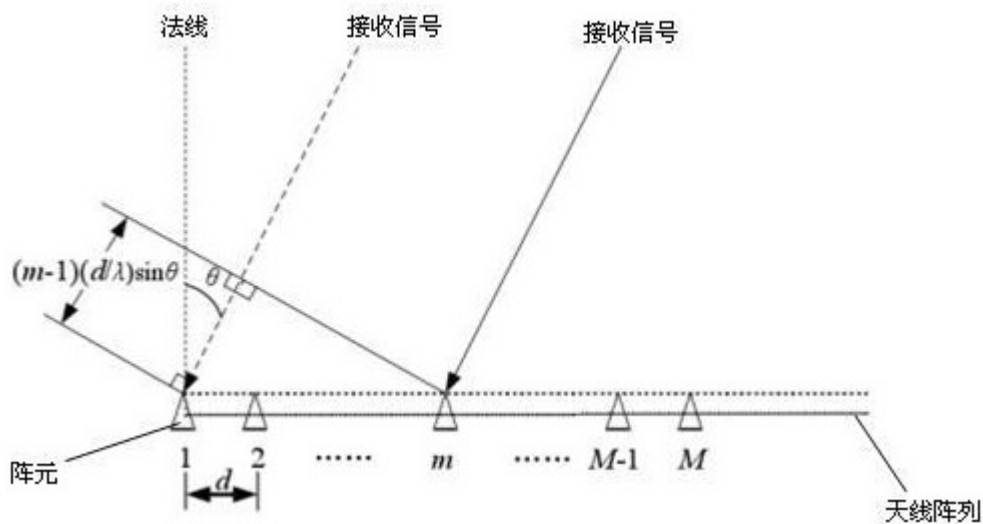


图2

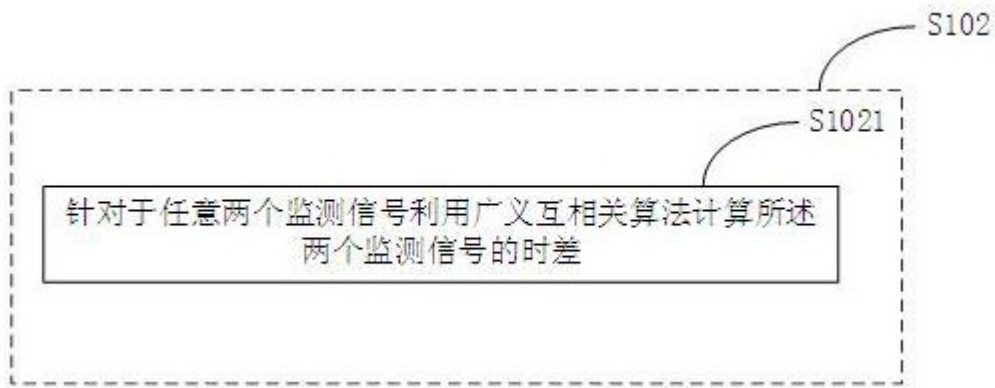


图3

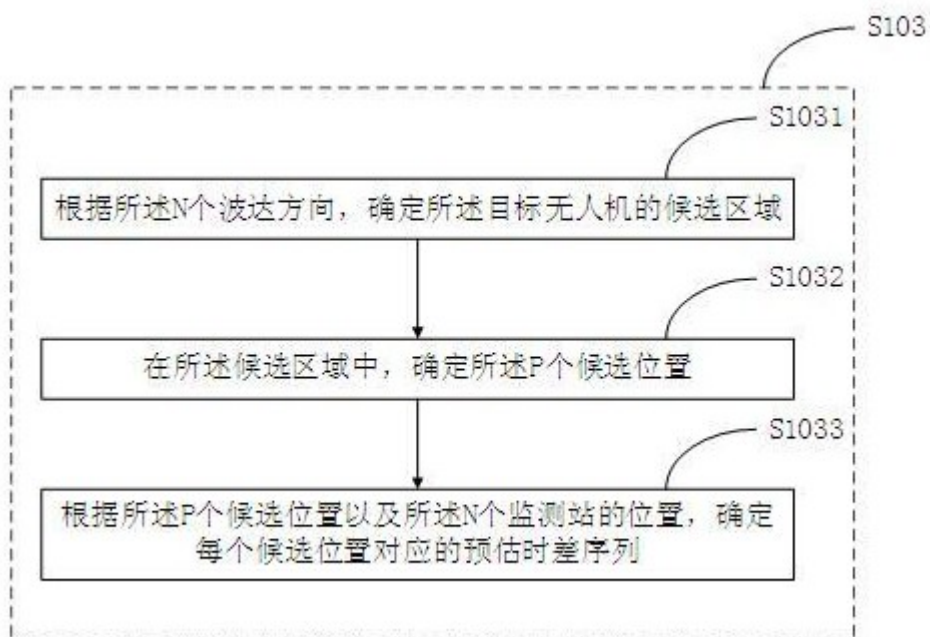


图4

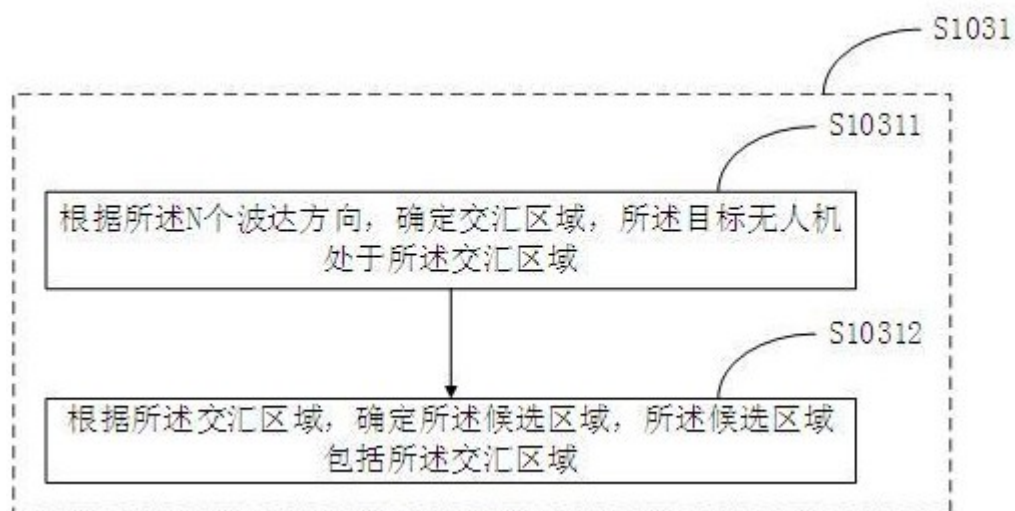


图5

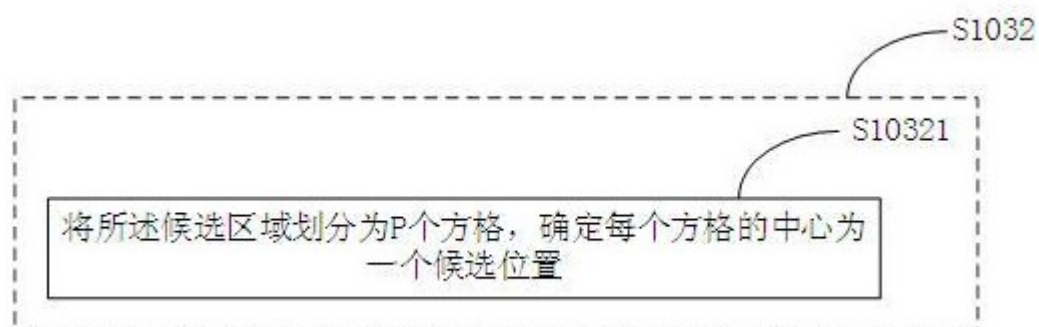


图6

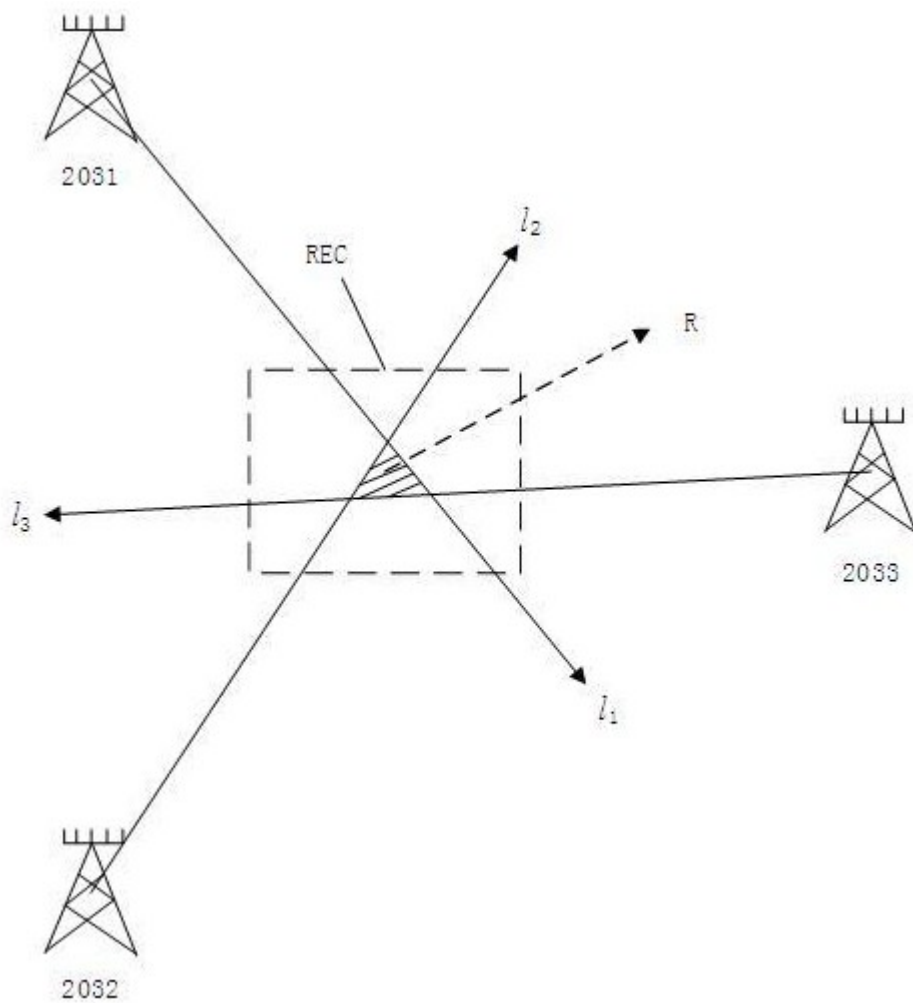


图7

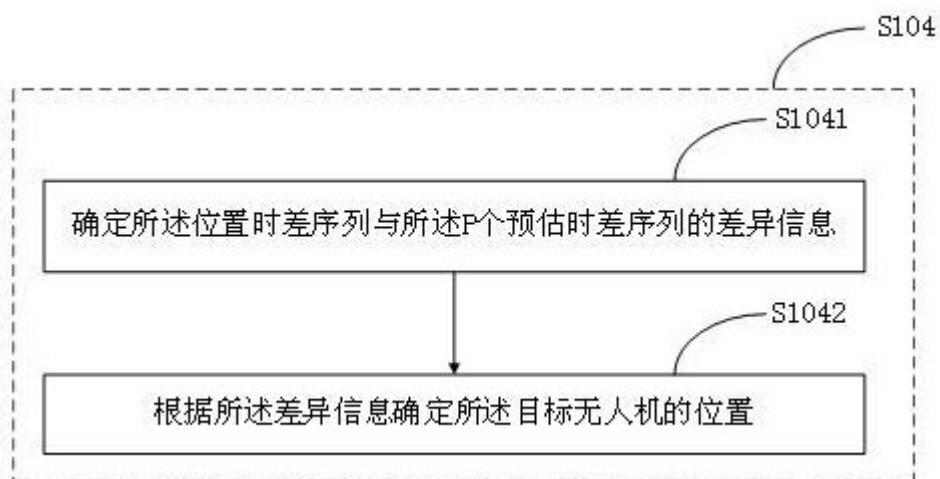


图8

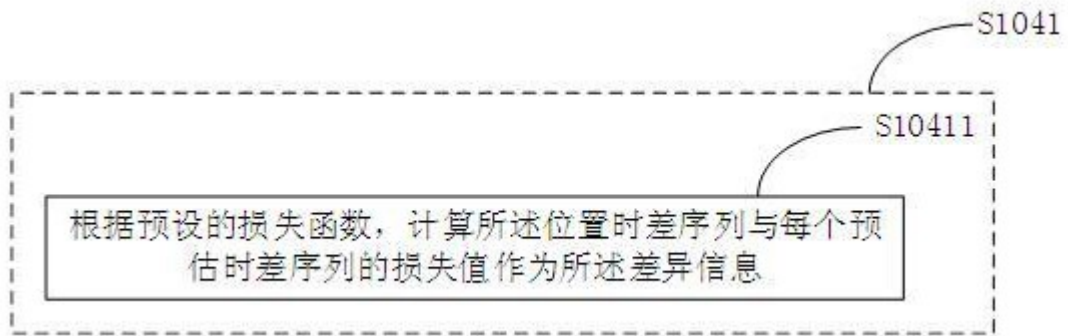


图9

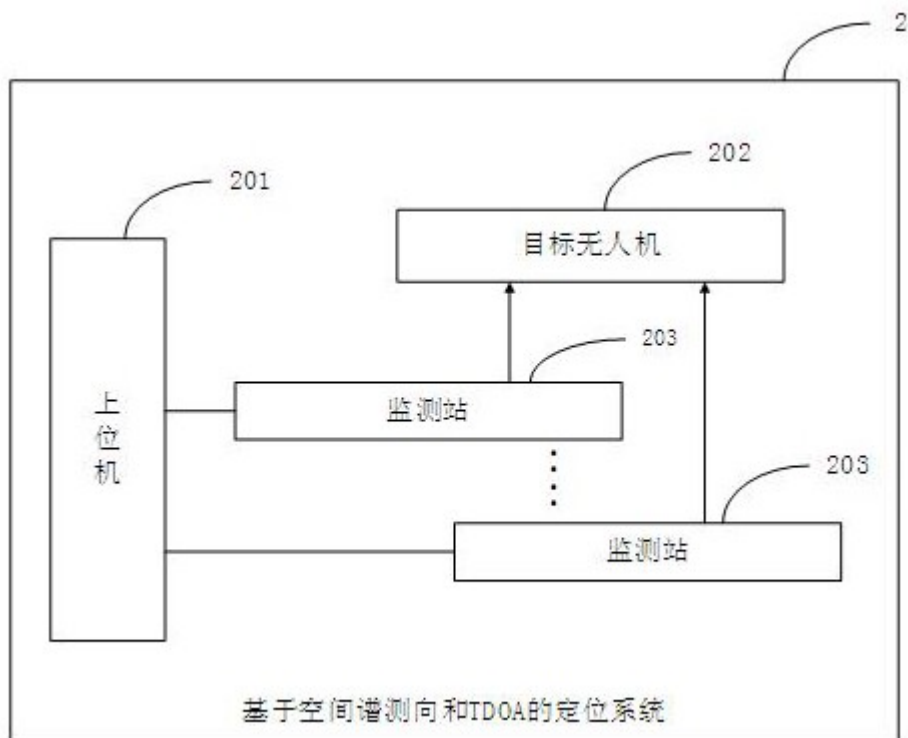


图10



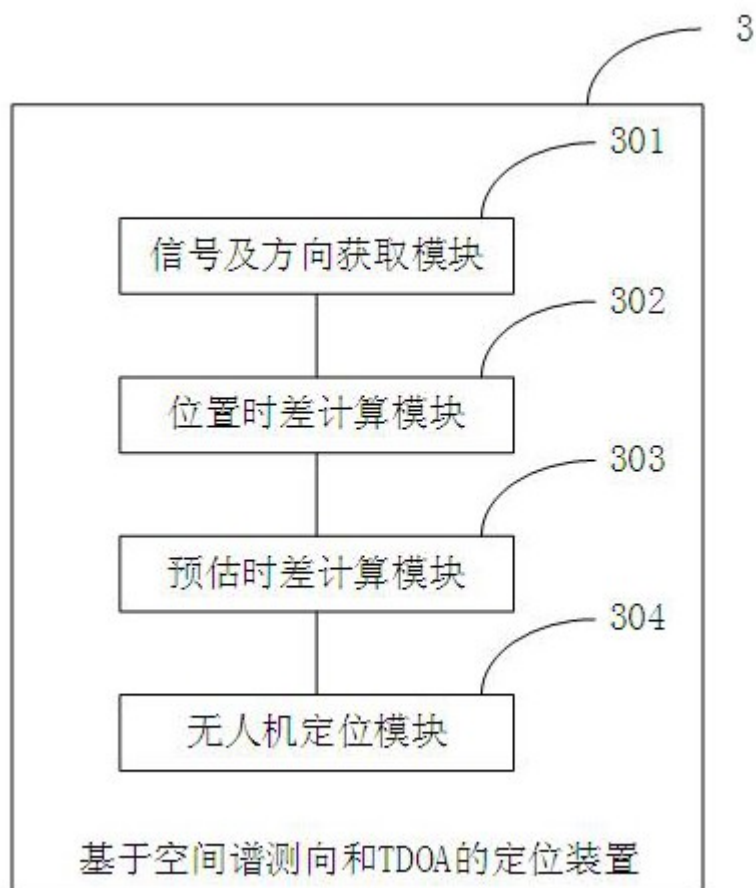


图11

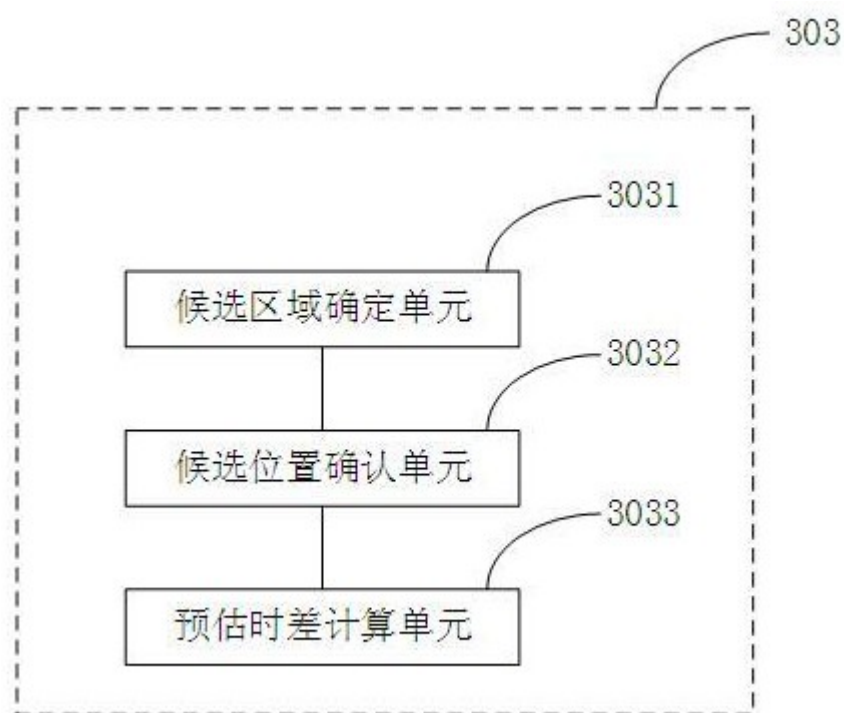


图12

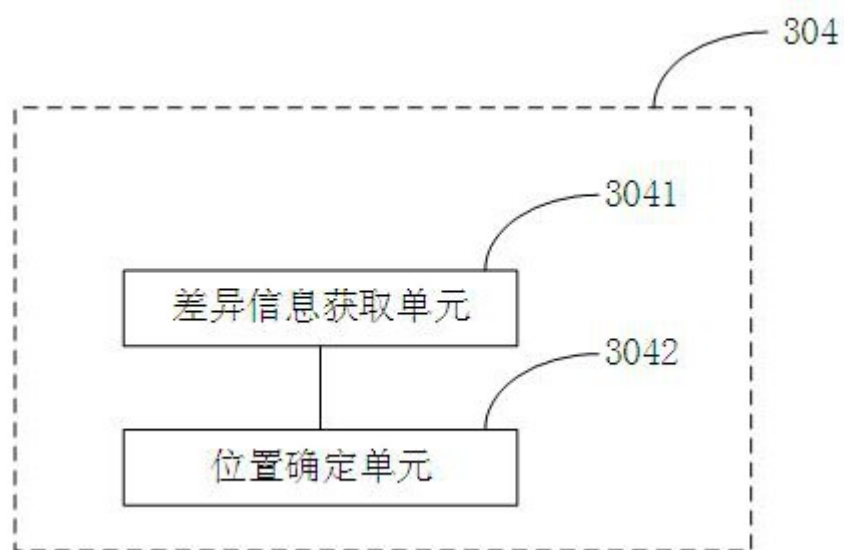


图13

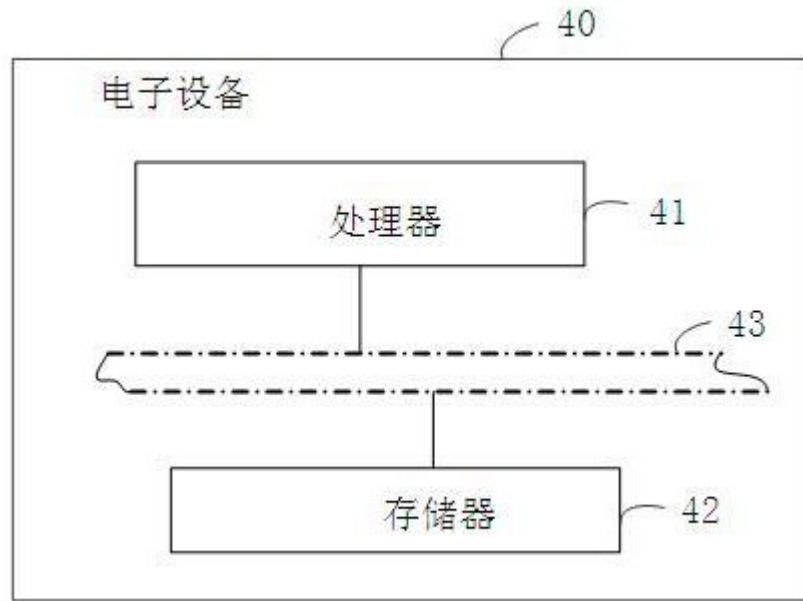


图14