



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112887906 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202110138213.0

(22) 申请日 2021.02.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112887906 A

(43) 申请公布日 2021.06.01

(73) 专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区双清路30号清华大学

(72) 发明人 沈渊 赵涵颖 张子健

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 程琛

(51) Int. Cl.

H04W 4/02 (2018.01)

H04W 4/06 (2009.01)

H04W 56/00 (2009.01)

H04W 64/00 (2009.01)

H04J 3/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111212476 A, 2020.05.29

CN 111665511 A, 2020.09.15

CN 111262755 A, 2020.06.09

CN 104869636 A, 2015.08.26

CN 112188391 A, 2021.01.05

CN 106851696 A, 2017.06.13

EP 3418771 A1, 2018.12.26

何燕凯等. 基于UWB的室内定位平台设计及应用.《移动通信》.2020, (第02期),

Zijian Zhang.《High-Efficient Ranging Algorithms for Wireless Sensor Network》.《2019 11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)》.2019,

仰胜等. 基于TOF模式的UWB定位原理与精度验证.《大地测量与地球动力学》.2020, (第03期),

侯森林等. 水下无线传感器网络节点混合定位与优化算法.《计算机工程》.2018, (第12期),

审查员 马俞如

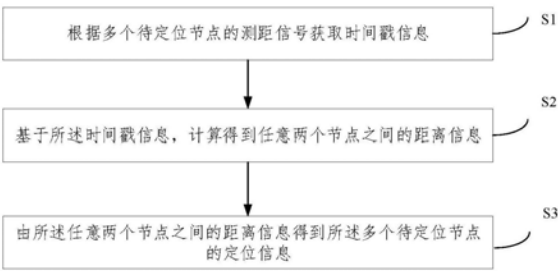
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种无线网络联合定位方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种无线网络联合定位方法及系统,包括:根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。本发明所采用的联合定位方法,能有效消除节点间时钟误差所导致的测距精度下降问题,并大幅降低信号开销和测距耗时,实现低资源负载下的高精度网络测距与定位。



1. 一种无线网络联合定位方法,其特征在于,包括:

根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;

基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;

由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息;

所述根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息,具体包括:

确定网络中的若干主动节点,所述若干主动节点按照预设排序规则从第一节点开始依次广播发送测距信号;

待所述若干主动节点中的任一主动节点广播发送测距信号时,所述任一主动节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间;

将网络中多个主动节点获取的多个信号发送时间和多个信号接收时间作为所述时间戳信息;

所述待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间,之后还包括:

在所述若干主动节点中选取除所述第一节点之外的若干剩余主动节点;

使所述若干剩余主动节点按照所述预设排序规则广播发送测距信号,由发送节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

所述根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息,还包括:

确定网络中的若干被动节点;

所述若干被动节点按照所述预设排序规则依次接收所述测距信号,并记录信号接收时间;

所述基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息,具体包括:

分别计算所述第一节点第一次广播发送测距信号和第二次广播发送测距信号的发送时间周期,以及网络中其余节点收到所述第一节点两次接收测距信号的接收时间周期;

基于所述发送时间周期和所述接收时间周期,得到所述任意两个节点之间的最大似然估计;

基于所述最大似然估计提取所述任意两个节点之间的到达时间估计;

获取信号传播速度,基于所述信号传播速度和所述到达时间估计得到所述任意两个节点之间的距离信息。

2. 根据权利要求1所述的无线网络联合定位方法,其特征在于,所述由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息,具体包括:

基于任意两个主动节点之间的距离信息,构建基于最小二乘的节点位置估计函数;

对所述节点位置估计函数求解最小二乘优化问题,得到主动节点位置信息。

3. 根据权利要求2所述的无线网络联合定位方法,其特征在于,所述由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息,还包括:

根据所述时间戳信息获得每个被动节点与任意两个主动节点之间的距离差;

基于所述距离差,得到被动节点位置信息。

4. 一种无线网络联合定位系统,其特征在于,包括:

获取模块,用于根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;

计算模块,用于基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;

定位模块,用于由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息;

所述获取模块具体用于:

确定网络中的若干主动节点,所述若干主动节点按照预设排序规则从第一节点开始依次广播发送测距信号;

待所述若干主动节点中的任一主动节点广播发送测距信号时,所述任一主动节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间;

将网络中多个主动节点获取的多个信号发送时间和多个信号接收时间作为所述时间戳信息;

所述待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间,之后还包括:

在所述若干主动节点中选取除所述第一节点之外的若干剩余主动节点;

使所述若干剩余主动节点按照所述预设排序规则广播发送测距信号,由发送节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

所述获取模块还用于:

确定网络中的若干被动节点;

所述若干被动节点按照所述预设排序规则依次接收所述测距信号,并记录信号接收时间;

所述计算模块具体用于:

分别计算所述第一节点第一次广播发送测距信号和第二次广播发送测距信号的发送时间周期,以及网络中其余节点收到所述第一节点两次接收测距信号的接收时间周期;

基于所述发送时间周期和所述接收时间周期,得到所述任意两个节点之间的最大似然估计;

基于所述最大似然估计提取所述任意两个节点之间的到达时间估计;

获取信号传播速度,基于所述信号传播速度和所述到达时间估计得到所述任意两个节点之间的距离信息。

5. 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至3任一项所述无线网络联合定位方法的步骤。

6. 一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至3任一项所述无线网络联合定位方法的步骤。

一种无线网络联合定位方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及无线网络技术领域,尤其涉及一种无线网络联合定位方法及系统。

背景技术

[0002] 高精度的位置信息给人们生活带来了便利,其中基于卫星的导航系统是最常见的定位系统,但受到建筑物遮挡、信号衰减以及电磁干扰等因素的影响,无法满足厘米级定位精度需求。而无线网络系统凭借着硬件成本低、覆盖范围广等优点,近几年来受到了工业界和学术界的广泛关注,被视为无缝覆盖定位系统的重要组成部分。

[0003] 与卫星导航系统不同的是,无线网络系统中的各节点时钟往往不同步,而此同步误差所带来的测距误差通常在米级到几十米量级。另外,由于时钟的晶振存在时变的频率漂移现象,系统需要频繁执行网络同步处理才能有效消除同步误差,以满足高精度定位的需求。现有的无线系统通常采用两两节点间交叉通信的双边测距方法来实现网络同步。对于一个全链接网络,测距所需要的信号数与节点数成平方关系。随着未来无线网络规模进一步地增大,节点数快速上升,上述双边测距方法的信号开销与测量耗时将急剧增大,这对实现低信号开销下的实时高精度网络定位造成巨大的挑战。

[0004] 因此,亟需提出一种新的无线网络定位方法,克服上述问题的不足。

发明内容

[0005] 本发明提供一种无线网络联合定位方法及系统,用以解决现有技术中存在的同步功耗开销过大、效率低以及时延长的缺陷。

[0006] 第一方面,本发明提供一种无线网络联合定位方法,包括:

[0007] 根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;

[0008] 基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;

[0009] 由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0010] 在一个实施例中,所述根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息,具体包括:

[0011] 确定网络中的若干主动节点,所述若干主动节点按照预设排序规则从第一节点开始依次广播发送测距信号;

[0012] 待所述若干主动节点中的任一主动节点广播发送测距信号时,所述任一主动节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

[0013] 待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间;

[0014] 将网络中多个主动节点获取的多个信号发送时间和多个信号接收时间作为所述时间戳信息。

[0015] 在一个实施例中,所述待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记

录信号接收时间,之后还包括:

[0016] 在所述若干主动节点中选取除所述第一节点之外的若干剩余主动节点;

[0017] 使所述若干剩余主动节点按照所述预设排序规则广播发送测距信号,由发送节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间。

[0018] 在一个实施例中,所述根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息,还包括:

[0019] 确定网络中的若干被动节点;

[0020] 所述若干被动节点按照所述预设排序规则依次接收所述测距信号,并记录信号接收时间。

[0021] 在一个实施例中,所述基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息,具体包括:

[0022] 分别计算所述第一节点第一次广播发送测距信号和第二次广播发送测距信号的发送时间周期,以及网络中其余节点收到所述第一节点两次接收测距信号的接收时间周期;

[0023] 基于所述发送时间周期和所述接收时间周期,得到所述任意两个节点之间的最大似然估计;

[0024] 基于所述最大似然估计提取所述任意两个节点之间的到达时间估计;

[0025] 获取信号传播速度,基于所述信号传播速度和所述到达时间估计得到所述任意两个节点之间的距离信息。

[0026] 在一个实施例中,所述由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息,具体包括:

[0027] 基于任意两个主动节点之间的距离信息,构建基于最小二乘的节点位置估计函数;

[0028] 对所述节点位置估计函数求解最小二乘优化问题,得到主动节点位置信息。

[0029] 在一个实施例中,所述由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息,还包括:

[0030] 根据所述时间戳信息获得每个被动节点与任意两个主动节点之间的距离差;

[0031] 基于所述距离差,得到被动节点位置信息。

[0032] 第二方面,本发明还提供一种无线网络联合定位系统,包括:

[0033] 获取模块,用于根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;

[0034] 计算模块,用于基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;

[0035] 定位模块,用于由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0036] 第三方面,本发明还提供一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现如上述任一种所述无线网络联合定位方法的步骤。

[0037] 第四方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现如上述任一种所述无线网络联合定位方法的步骤。

[0038] 本发明提供的无线网络联合定位方法及系统,通过采用的联合定位方法,能有效消除节点间时钟误差所导致的测距精度下降问题,并大幅降低信号开销和测距耗时,实现

低资源负载下的高精度网络测距与定位。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明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一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图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。

[0040] 图1是本发明提供的无线网络联合定位方法的流程示意图;

[0041] 图2是本发明提供的无线网络联合定位的系统框架示意图;

[0042] 图3是本发明提供的基于信号复用的高效组网测距协议示意图之一;

[0043] 图4是本发明提供的基于信号复用的高效组网测距协议示意图之二;

[0044] 图5是本发明提供的网络测距与定位流程示意图;

[0045] 图6是本发明提供的无线网络联合定位系统的结构示意图;

[0046] 图7是本发明提供的电子设备的结构示意图。

具体实施方式

[0047] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例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作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。

[0048] 针对现有技术中存在的问题,本发明提出一种高效的联合测距方法用于无线网络定位,以应对各定位节点时钟不同步以及存在时变漂移情况。相比于传统方法,此方法在保证同步精度的同时,有效降低测距耗时,减少测距信号开销。

[0049] 图1是本发明提供的无线网络联合定位方法的流程示意图,如图1所示,包括:

[0050] S1,根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;

[0051] S2,基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;

[0052] S3,由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0053] 具体地,本发明所提出的无线网络联合定位方法对应的整体系统框架示意图如图2所示,定位系统包括多个待定位节点,节点含有无线测量模块和通信模块。网络中若干主动节点对外广播发射测距信号,发送节点记录下信号发送时间,其余节点记录下接收到该广播信号的时间。信息融合中心根据测量的时间戳信息,计算每两个主动节点间的距离以及每个被动节点与任意两个主动节点的距离差。最后,基于距离测量完成网络各个节点的定位。

[0054] 本发明所提出的高效组网协议与网络测距定位方法,实现了低信号开销下的实时高精度网络测距与定位。

[0055] 基于上述实施例,该方法中步骤S1具体包括:

[0056] 确定网络中的若干主动节点,所述若干主动节点按照预设排序规则从第一节点开始依次广播发送测距信号;

[0057] 待所述若干主动节点中的任一主动节点广播发送测距信号时,所述任一主动节点

记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间;

[0058] 待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间;

[0059] 将网络中多个主动节点获取的多个信号发送时间和多个信号接收时间作为所述时间戳信息。

[0060] 其中,所述待所述若干主动节点按照所述预设排序规则完成信号发送后,所述第一节点再次广播发送一条测距信号并记录信号发送时间,其余节点再次分别记录信号接收时间,之后还包括:

[0061] 在所述若干主动节点中选取除所述第一节点之外的若干剩余主动节点;

[0062] 使所述若干剩余主动节点按照所述预设排序规则广播发送测距信号,由发送节点记录信号发送时间,其余节点分别记录信号接收时间。

[0063] 其中,该方法中步骤S1还包括:

[0064] 确定网络中的若干被动节点;

[0065] 所述若干被动节点按照所述预设排序规则依次接收所述测距信号,并记录信号接收时间。

[0066] 具体地,对网络中的主动节点按一定规则进行排序,并以此顺序作为其发送测距信号的顺序;主动节点1对外广播发送一条测距信号,节点1记录下信号的发送时间(即发送时间戳),其余节点记录下接收到该广播信号的时间(即接收时间戳);主动节点2对外广播发送一条测距信号,节点2记录下信号的发送时间,其余节点记录下接收到该广播信号的时间;其余主动定位节点按照约定顺序依次广播一条测距信号,其中发送节点记录下信号发送时间,其余节点记录下接收到该广播信号的时间;主动节点1再对外广播发送一条测距信号,节点1记录下信号的发送时间,其余节点记录下接收到该广播信号的时间;网络中各个节点将所获取的时间戳信息发送给信息融合中心

[0067] 可以理解的是,利用本发明所设计的测距组网协议,所需要的测距信号数与节点数成线性关系,显著提高组网测距效率,降低了资源开销和耗时,在图3中示意了所提组网协议的最基础版本,并证明了对于包含 N_a 个主动定位节点的网络,所提的 N_a+1 条测距方案是单周期内实现高精度测距的最高效方式。

[0068] 从接收到的时间戳信息获取各个节点对参照时间的测量。不失一般性,假设定位网络存在 N_a 个主动节点($\mathcal{N}_a := \{1, 2, \dots, N_a\}$)和 N_p 个被动节点(可选, $\mathcal{N}_p := \{N_a + 1, N_a + 2, \dots, N_a + N_p\}$),共 $N := N_a + N_p$ 个节点。对于来自主动节点1的两条测量信号时间间隔——参照时间 T ,可以表述为

$$T := T^{(1)} = \dots = T^{(n)} = t_{N_a+1}^{(n)} - t_1^{(n)}, \quad n \in \mathcal{N}$$

[0069]

$$= \{1, 2, \dots, N_a, N_a + 1, \dots, N_a + N_p\}$$

[0070] 其中 $T^{(n)}$ 表示节点 n 收到来自节点1的两条测量信号的真实时间间隔, $t_q^{(n)}$ 表示节点 n 收到或发送网络第 q ($q=1, 2, \dots, N_a+1$)条测量信号的真实时间。根据IEEE 802.15.4a标

准,在仅时钟漂移误差占主要时钟误差的情况下,实际时间戳 $t_q^{(n)}$ 的测量值 $\hat{t}_q^{(n)}$ 可以表述为:

$$[0071] \quad \hat{t}_q^{(n)} = (1 + e_n)t_q^{(n)} + \theta$$

[0072] 其中 e_n 是时钟频率漂移系数,是一个在 $[-e_{\max}, e_{\max}]$ 变化的随机变量, θ 是时钟偏移系数。

[0073] 因此在节点n,参照时间 $T^{(n)}$ 的测量结果可以表述为:

$$[0074] \quad \hat{T}^{(n)} = \hat{t}_{N_a+1}^{(n)} - \hat{t}_1^{(n)}$$

[0075] 由此,基于观测 $\{\hat{T}^{(1)}, \hat{T}^{(2)}, \dots, \hat{T}^{(N)}\}$,参照时间T的最大似然估计为

$$[0076] \quad \bar{T} = \arg \max_T h_{e_n}(T^{(n)}; T)$$

[0077] 其中 $h_{e_n}(\cdot)$ 是节点n的时钟频率漂移系数 e_n 的概率密度函数。特别地,对于服从均匀分布的时钟频率漂移系数 e_n ,参照时间T的最大似然估计为

$$[0078] \quad \bar{T} = \frac{\max_{n \in \mathcal{N}} \hat{T}^{(n)}}{1 + e_{\max}}。$$

[0079] 接下来,基于参照时间T的最大似然估计 $\bar{T}$,主动节点i和j之间测距信号传播时间的最大似然估计可以表述为(不失一般性,假设节点 $i < j$)

$$[0080] \quad \hat{T}_{oF}(i, j) = \frac{\bar{T}}{2} \left(\frac{\hat{D}_{i,j}^{(i)}}{\hat{T}^{(i)}} - \frac{\hat{D}_{i,j}^{(j)}}{\hat{T}^{(j)}} \right), \quad i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0081] 其中 $\hat{D}_{i,j}^{(i)}$ 为从主动节点i发送测距信号到接收到来自节点j测距信号的时间间隔, $\hat{D}_{i,j}^{(j)}$ 为从主动节点j接收到来自节点i测距信号到发送其测距信号的时间间隔。进一步地,主动节点i和j之间距离的最大似然估计可以表述为:

$$[0082] \quad \hat{d}_{i,j} = c \hat{T}_{oF}(i, j), \quad i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0083] 其中c为信号传播速度。

[0084] 可选地,对于网络中任意的被动(监听)节点,由于其不主动发送测距信号,其与网络中其他节点的绝对距离无法直接通过测量获得,转而估计其与主动节点的距离差来确定其位置。对于被动节点k,其到主动节点i和j的距离差估计可以表述为(不失一般性,假设节点 $i < j$)

$$[0085] \quad \hat{R}_{k,i,j} = c \hat{T}_d(k; i, j), \quad k \in \mathcal{N}_p, i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0086] 其中 $\hat{T}_d(k; i, j)$ 为主动-被动节点对(i, k)和(j, k)的测距信号传播时间差的最大似然估计,可以表述为:

$$[0087] \quad \hat{T}_d(k; i, j) = \frac{\bar{T}}{2\hat{T}^{(j)}} \hat{D}_{i,j}^{(j)} + \frac{\bar{T}}{2\hat{T}^{(i)}} \hat{D}_{i,j}^{(i)} - \frac{\bar{T}}{\hat{T}^{(k)}} \hat{D}_{i,j}^{(k)}, \quad k \in \mathcal{N}_p, i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0088] 其中 $\hat{D}_{i,j}^{(k)}$ 为节点k接收到来自主动节点i测距信号的时间到接收到来自节点j测距信号的时间间隔。

[0089] 可选地, 为了进一步提高测距精度, 除了主动节点1之外, 可以在主动节点 $\{2, 3, \dots, N_a\}$ 中选取若干个, 使其如主动节点1一样再发送一条测距信号, 如图4所示。在此扩展版本的测距协议下, 网络所需的测距信号数为 $(N_a+1) \sim 2N_a$ 不等。不失一般性, 假设节点 $\{1, 2, 3, \dots, N_s\}$ 发送了两条测距信号。具体的估计算法如下。对于来自主动节点m的两条测量信号时间间隔——参照时间记为 T_m , 可以表述为:

$$T_m := T_m^{(1)} = \dots = T_m^{(n)} = t_{N_a+m}^{(n)} - t_m^{(n)}, \quad n \in \mathcal{N}$$

[0090]

$$= \{1, 2, \dots, N_a, N_a + 1, \dots, N_a + N_p\}$$

[0091] 主动节点i和j之间测距信号传播时间的最大似然估计可以表述为(不失一般性, 假设节点 $i < j$)

$$[0092] \quad \hat{T}_{oF}(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^{N_s} \bar{T}_m}{2N_s} \left(\frac{\hat{D}_{i,j}^{(i)}}{\hat{T}_m^{(i)}} - \frac{\hat{D}_{i,j}^{(j)}}{\hat{T}_m^{(j)}} \right), \quad i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0093] 同样地, 对于被动节点k, 其到主动节点i和j的距离差估计可以表述为

$$[0094] \quad \hat{T}_d(k; i, j) = \frac{1}{N_s} \sum_{m=1}^{N_s} \left(\frac{\bar{T}_m}{2\hat{T}_m^{(j)}} \hat{D}_{i,j}^{(j)} + \frac{\bar{T}_m}{2\hat{T}_m^{(i)}} \hat{D}_{i,j}^{(i)} - \frac{\bar{T}_m}{\hat{T}_m^{(k)}} \hat{D}_{i,j}^{(k)} \right),$$

$$k \in \mathcal{N}_p, i, j \in \mathcal{N}_a$$

[0095] 本发明所提出的测距组网协议, 根据所需要的测距信号数与节点数成线性关系, 显著提高了组网测距效率, 并降低了资源开销和耗时。

[0096] 基于上述任一实施例, 该方法中步骤S2具体包括:

[0097] 分别计算所述第一节点第一次广播发送测距信号和第二次广播发送测距信号的发送时间周期, 以及网络中其余节点收到所述第一节点两次接收测距信号的接收时间周期;

[0098] 基于所述发送时间周期和所述接收时间周期, 得到所述任意两个节点之间的最大似然估计;

[0099] 基于所述最大似然估计提取所述任意两个节点之间的到达时间估计;

[0100] 获取信号传播速度, 基于所述信号传播速度和所述到达时间估计得到所述任意两个节点之间的距离信息。

[0101] 具体地, 如图5所示, 分别计算节点1发送两条测量信号的时间周期以及网络中其他节点收到节点1两条测量信号的时间周期; 以此时间间隔作为参照时间, 估计两两节点之间的时钟漂移系数之比; 根据时钟漂移系数比计算上述参照时间的最大似然估计; 根据参照时间的最大似然估计提取两两节点间的到达时间估计; 根据到达时间估计乘以信号传播

速度从而确定节点间距离。

[0102] 此处,根据节点间的距离测量,构造基于最小二乘的节点位置估计函数,可以表述为

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\mathbf{p}) = & \frac{2}{N_a(N_a - 1)} \sum_{i=1}^{N_a} \sum_{j=i+1}^{N_a} \eta_{i,j} f_{i,j}(\mathbf{p}) \\ [0103] \quad & + \frac{2}{N_p N_a (N_a - 1)} \sum_{i=1}^{N_a} \sum_{j=i+1}^{N_a} \sum_{k=N_a+1}^{N_a+N_p} \eta_{k;i,j} g_{k;i,j}(\mathbf{p}), \end{aligned}$$

[0104] 其中 $\mathbf{p}_n$ 表示节点 n 的位置, $\eta_{i,j}$ 和 $\eta_{k;i,j}$ 分别为关于距离测量 $\hat{\mathbf{d}}_{i,j}$ 和距离差测量 $\hat{\mathbf{R}}_{k;i,j}$ 的置信度函数,以及 $f_{i,j}(\mathbf{p})$ 和 $g_{k;i,j}(\mathbf{p})$ 分别定义为:

$$[0105] \quad f_{i,j}(\mathbf{p}) = [\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\| - \hat{\mathbf{d}}_{i,j}]^2$$

$$[0106] \quad g_{k;i,j}(\mathbf{p}) = [\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_k\| - \|\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_k\| - \hat{\mathbf{R}}_{k;i,j}]^2。$$

[0107] 综上,为实现主动被动节点联合定位,优化问题为:

$$[0108] \quad \min_{\mathbf{p}} \mathcal{L}(\mathbf{p})$$

[0109] 由于上述优化问题非凸,第三步骤利用牛顿迭代算法,迭代公式为:

$$[0110] \quad \hat{\mathbf{p}}^{(r+1)} = \hat{\mathbf{p}}^{(r)} - \zeta^{(r)} \mathbf{v}^{(r)}$$

[0111] 其中, $\mathbf{v}^{(r)}$ 为第 r 步的梯度下降方向:

$$[0112] \quad \mathbf{v}^{(r)} = \left. \frac{\partial \mathcal{L}(\mathbf{p})}{\partial \mathbf{p}} \right|_{\mathbf{p}=\hat{\mathbf{p}}^{(r)}}$$

[0113] $\zeta^{(r)}$ 为步长:

$$[0114] \quad \zeta^{(r)} = \frac{\|\mathbf{v}^{(r)}\|}{[\mathbf{v}^{(r)}]^T \mathbf{H}^{(r)} \mathbf{v}^{(r)}}$$

[0115] 其中 $\mathbf{H}^{(r)}$ 为 $\mathcal{L}(\mathbf{p})$ 的二阶Hessian矩阵:

$$[0116] \quad \mathbf{H}^{(r)} = \left. \frac{\partial^2 \mathcal{L}(\mathbf{p})}{\partial [\mathbf{p}]_i \partial [\mathbf{p}]_j} \right|_{\mathbf{p}=\hat{\mathbf{p}}^{(r)}}。$$

[0117] 基于上述任一实施例,该方法中步骤S3具体包括:

[0118] 基于任意两个主动节点之间的距离信息,构建基于最小二乘的节点位置估计函数;

[0119] 对所述节点位置估计函数求解最小二乘优化问题,得到主动节点位置信息。

[0120] 其中,该方法中步骤S3还包括:

[0121] 根据所述时间戳信息获得每个被动节点与任意两个主动节点之间的距离差;

[0122] 基于所述距离差,得到被动节点位置信息。

[0123] 具体地,在获取任意两个主动节点之间的距离信息后,由信息融合中心根据节点间的距离测量,构造基于最小二乘的节点位置估计函数,再求解最小二乘优化问题,估计主动节点位置。

[0124] 可选地,当网络中存在被动定位节点(即监听节点)时,根据时间戳信息估计每个被动节点与任意两个主动节点的距离差。再根据距离测量差,确定被动节点位置。

[0125] 本发明提供的抗时钟误差的高效网络测距与定位方法,一方面改进传统的两两测距方法,提出一种新型的组网测距协议,降低信号开销和测距耗时;并提出了一种基于最大似然的信号达到时间估计算法,有效消除时钟偏差导致的测距误差,实现高精度网络测距与定位;另一方面,所提的定位方法从各个节点处获取测距信号的发送/接收时间戳信息,在信息融合中心校准信号到达时间估计,然后求解基于最小二乘的位置估计问题,确定节点位置。

[0126] 下面对本发明提供的无线网络联合定位系统进行描述,下文描述的无线网络联合定位系统与上文描述的无线网络联合定位方法可相互对应参照。

[0127] 图6是本发明提供的无线网络联合定位系统的结构示意图,如图6所示,包括:获取模块61、计算模块62和定位模块63;其中:

[0128] 获取模块61用于根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;计算模块62用于基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;定位模块63用于由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0129] 本发明所提出的高效组网协议与网络测距定位方法,实现了低信号开销下的实时高精度网络测距与定位。

[0130] 图7示例了一种电子设备的实体结构示意图,如图7所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)710、通信接口(CommunicationsInterface)720、存储器(memory)730和通信总线740,其中,处理器710,通信接口720,存储器730通过通信总线740完成相互间的通信。处理器710可以调用存储器730中的逻辑指令,以执行无线网络联合定位方法,该方法包括:根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息;基于所述时间戳信息,计算得到任意两个节点之间的距离信息;由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0131] 此外,上述的存储器730中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-OnlyMemory)、随机存取存储器(RAM, RandomAccessMemory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0132] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法所提供的无线网络联合定位方法,该方

法包括：根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息；基于所述时间戳信息，计算得到任意两个节点之间的距离信息；由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0133] 又一方面，本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各提供的无线网络联合定位方法，该方法包括：根据多个待定位节点的测距信号获取时间戳信息；基于所述时间戳信息，计算得到任意两个节点之间的距离信息；由所述任意两个节点之间的距离信息得到所述多个待定位节点的定位信息。

[0134] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下，即可以理解并实施。

[0135] 通过以上的实施方式的描述，本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现，当然也可以通过硬件。基于这样的理解，上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中，如ROM/RAM、磁碟、光盘等，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0136] 最后应说明的是：以上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精神和范围。

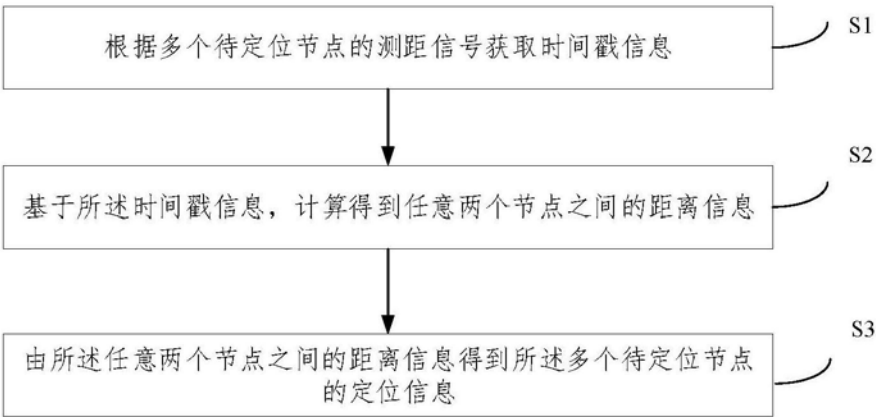


图1

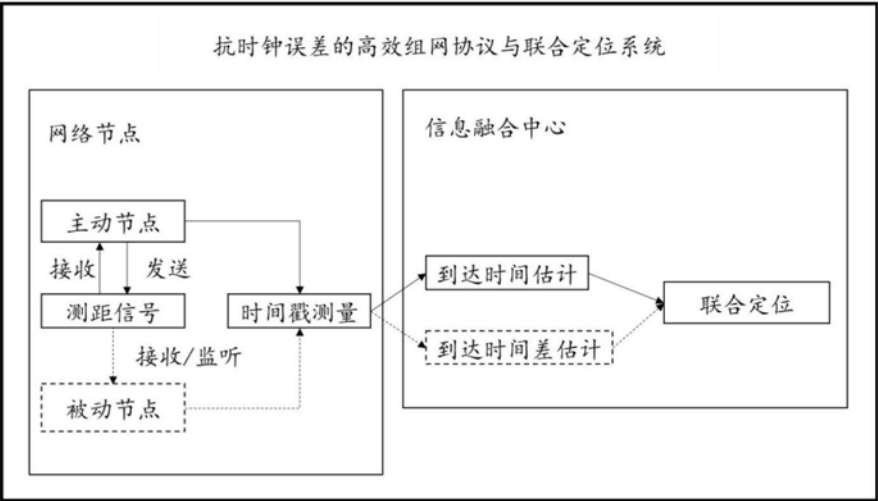


图2

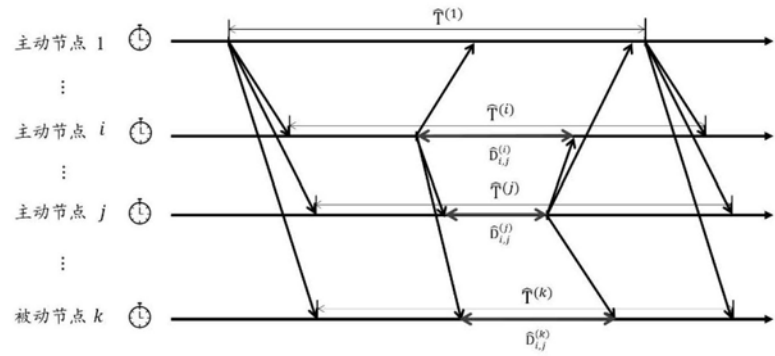


图3

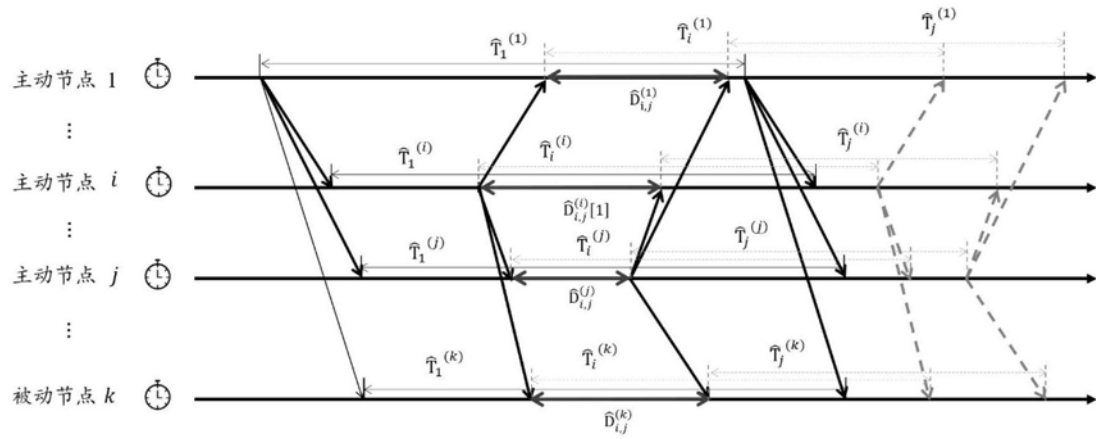


图4

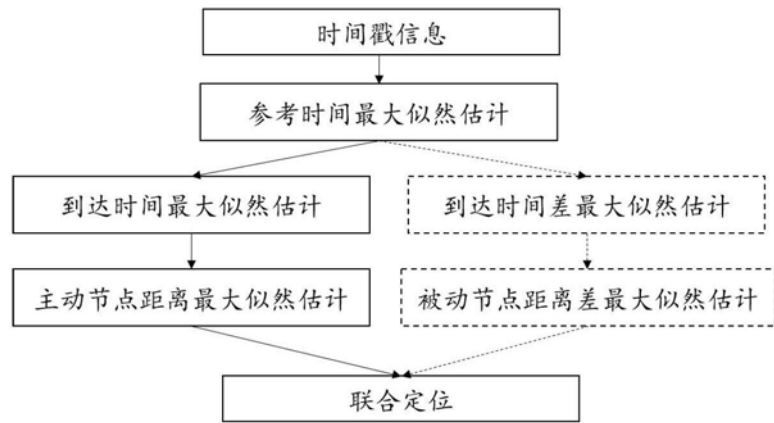


图5

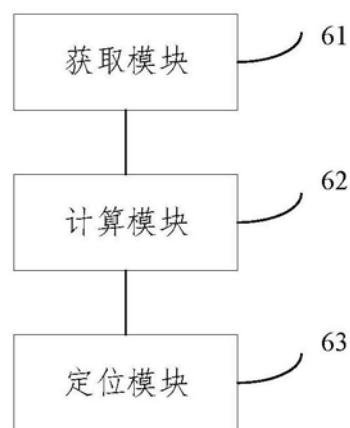


图6

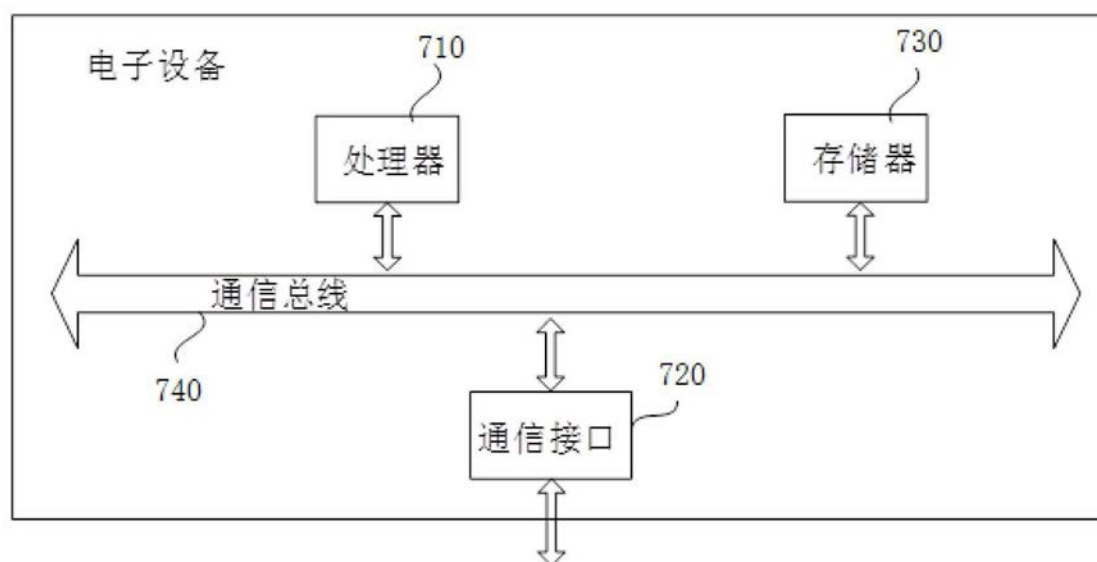


图7