

# 低能耗状态下无线传感器网络的定位和时间同步机制研究

易月娥

(长沙民政职业技术学院,湖南长沙 410004)

**【摘要】**时间同步机制是分布式系统框架的一个关键机制。分布式无线传感器网络广泛使用的同步机制,通常在范围、能耗、寿命以及精度等方面有较高的要求。针对无线传感器网络对时间同步机制的要求,提出一种低能耗同步方案,以实验仿真的形式产生对不同模型以及网络拓扑结构下各种指标数值结果,验证了在较少的能量供给下实现短暂的、局部的、但高精度的同步。

**【关键词】**无线传感器网络;时间同步;低能耗

**【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2022.03.006】**

**【中图分类号】**TN929.5

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**2095-7661(2022)03-0021-04

## Research on Localization and Time Synchronization Mechanism of Wireless Sensor Networks under Low Energy Consumption

YI Yue-e

(Changsha Social Work College, Changsha, Hunan, China 410004)

**Abstract:** Time synchronization mechanism is a key mechanism of distributed system framework. The widely used synchronization mechanism in distributed wireless sensor networks often has high requirements in terms of range, energy consumption, lifetime and accuracy. This paper proposes a low-energy synchronization scheme according to the requirements of the time synchronization mechanism in wireless sensor networks. In the form of experimental simulation, the numerical results of various indicators under different models and network topologies are simulated, and it is verified that short-term, local and high-precision synchronization can be achieved under the condition of less energy supply.

**Keywords:**wireless sensor networks; time synchronization; low energy consumption

### 1 定位技术介绍

在分布式无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)中,传感器节点一般都是随机布放在某种特定环境中,节点事先并不知道自身的具体位置,因此传感器节点必须能够在布放后实时进行定位。传感器节点的自身定位技术就是根据少数信标节点(已知位置的节点),按照某种定位机制确定自身位置的过程<sup>[1]</sup>。

传感器节点定位技术在多传感器协作过程中有以下用途:目标跟踪(实时监测和报告)、预测目标轨迹、协助通信的路由等<sup>[2]</sup>。传感器网络的定位算法通常具备以下几个特点:自组织性,节点随机

分布,不依靠全局的基础设施协助定位;健壮性,节点硬件配置低、功率小、可靠性较差,算法需容错性高;节省能量,算法对于无线通信、处理器计算的能量消耗要控制好;分布式计算,每个节点计算自身位置,而非由某一个节点对其它多个节点进行计算。

在无线传感器网络中,信标节点(已知自身位置)通过自身携带的GPS等定位设备获得自己精确的位置,刚开始信标节点的数量少,未知节点(已经接入系统但自身位置未知)通过信标节点的位置信息来确定自身位置。一开始信标节点只有几个,但其临近的节点不断定位自身之后也可以

**【收稿日期】**2022-05-18

**【作者简介】**易月娥(1981—),女,湖南醴陵人,长沙民政职业技术学院副教授,硕士,研究方向:无线传感器网络。

**【基金项目】**2018年湖南省教育厅科学研究项目“面向物联网的无线传感器网络时间同步与寻址策略研究”(项目编号:18C1810)。

转换为信标节点,后续节点接着定位和转换为信标节点,传播遍及整个无线传感网络。

传感器定位有三种基本方法:三边测量法(用三个信标节点到一个未知节点的距离)、三角测量法(用三个信标节点到一个未知节点的角度)、极大似然估计。极大似然估计方法,是用 $n$ 个( $n \geq 3$ )信标节点到一个未知节点的 $n$ 个距离信息,这 $n$ 个信标节点的位置坐标,建立 $n$ 个方程组成方程组,用最小二乘或极大似然估计(广义逆矩阵)求解该未知节点的估计坐标<sup>[3]</sup>。

还有一种二元检测法,该方法中,传感器距离检测只有1和0两种状态,侦测距离 $R$ ,对于 $R-e$ 距离以内的目标一律检测为1(有,在范围内),对于 $R+e$ 距离以外的目标一律检测为0(无,不在范围内),当目标距节点距离在 $(R-e)$ 和 $(R+e)$ 之间时有一定的概率被检测到,通常情况下 $e = 0.1R$ 。传感器密集分布在一定区域内,未知节点即在这些检测重叠范围内。这种方法的优点是硬件要求低,缺点是需要比较密集才能保证检测精度,信标节点需求多,还需要时间同步。

## 2 WSN时间同步机制

不同的传感器节点有自己的本地时钟,即使在某个时间,所有的节点都已经达到时间同步,但是时间也会逐渐出现偏差,需要进行多节点的时间同步(单次或周期性的)<sup>[4]</sup>。因为传感器网络具有应用相关的特点,采用统一的时间同步机制很难满足众多不同的应用,即使在单个的应用中,可能在一个或者几个层次上都需要采用时间同步,而每个层次对时间同步分别有着不同的要求<sup>[5]</sup>。因此,时间同步机制对于无线传感器网络这种分布式系统,是一个需要解决的关键问题。传感器网络的时间同步机制,需要能够构成 TDMA(Time Division Multiple Access,时分多址)调度机制,并且达到估计监测目标的速度以及追踪目标的运行方向,还能通过声波传播的测量结果,来确定声源的位置或者节点到声源的距离。人类社会使用的绝对时间称之为物理时间,表达事件发生的顺序关系可以用一个相对概念逻辑时间来表示,而在分布式系统的应用中,通常需要一个全局时间,来表示整个分布式系统的时间。目前,有少量厂家生产的传感器节点携带硬件时间同步部件,如GPS,性价比偏高,在需求数量巨大时尤其明显。大多数传感器节点是根据某种时间同步机制来交换同步消息,并且达到与网络中的其他传感器节点保持时间同步的目的。

## 3 低功耗的事后同步机制

在无线传感器网络中,节约节点能源,保持节点的低功耗状态至关重要。传感器网络硬件设计坚守着这一目标,处理器有各种“睡眠”模式,唤醒模式也分为主动唤醒和被动唤醒两种。主动唤醒模式就是自己定期唤醒自己,在唤醒之前WSN处于低功耗模式,或者说睡眠模式,该模式的微控制单元(Micro Controller Unit, MCU)只有很少的一部分用来计时,或者完全关闭,由片外的低功耗计时芯片来计时,等时间到了再唤醒MCU。因此主动唤醒模式的WSN无论如何都要消耗电量,只不过在低功耗模式下只有计时部分工作,其他传感器和射频模块不工作。被动唤醒模式则不一样,在睡眠时整个WSN可以关闭,不消耗任何电量,等需要采集数据的时候完全依靠主机的射频(Radio Frequency, RF)信号来实现唤醒。但是这就需要WSN具备RF能量收集的能力,因此射频模块的尺寸要大一些,并且主机的发射功率也要增加,通信协议也要略复杂,总体来说WSN的通信距离也不会太远。

在无线传感器节点的设计实例中,可以设置一个“预处理器”,不但能够进行简单的信号处理,而且功耗比较低。通常情况下,除了预处理器外,睡眠时整个WSN可以完全关机。当预处理器侦测到潜在的信号时,处理器的通用主机CPU便会进一步分析,如果它确定了事件发生,就会报告。

本文提出一种低功耗的事后同步方案。在本设计中,节点的初始时钟通常不同步,当节点接收到同步脉冲的时候,每个节点对标自己的地方时钟并且记录刺激的时间,产生一个称作“第三方”节点的灯塔广播同步脉冲,该地区所有节点使用这个同步脉冲,节点收到此脉冲并使用它作为一个参考的瞬时时间。当然,这是一个传输范围有限的灯塔脉冲,并且只能创建一个速成的按需同步,这使得这个同步时间只有在时间间隔比较小的时候效果比较明显。

### 3.1 预期的错误源

在实现低功耗的事后同步中有三个主要因素影响准确性和精度。它们分别是:初始时钟偏移,接收器时延和传输延迟。

#### 3.1.1 初始时钟偏移

由于物理上的分散性,传感器网络中相互独立的节点都有自己的全局时钟,每个节点维护自己的本地时钟。由于计时速率、运行环境和晶振的频率误差等因素存在不一致性,所以即使在某一

时刻所有的本地时钟被校准,一段时间之后,也有可能出现失步的情况。事后同步要求基于无线电信号的传输时间进行距离测量和定位,因为节点时钟不完全以同样的速度运行,有时会导致测量错误,影响同步的精度。在同步机制中估算出本地时钟之间的关系或者本地时钟与物理时钟的关系,构造相对应的逻辑时钟以达到同步。减少这种错误的方法之一是每个节点的振荡器使用NTP(Network Time Protocol,网络时间协议)时钟,采用多模式同步振荡器以固定频率产生脉冲,设置一个计数器,用来记录晶体振荡器产生脉冲的个数,每隔一定脉冲后,计算器加1。

### 3.1.2 接收器时延

由于硬件检测和操作系统等问题的非确定性,受发送时间、传输时间等影响,同步信号几乎不可能在同一时间到达所有接收器。同意广播域中的节点接收到网络内同步的脉冲信息,通过与另外接收节点之间收到的脉冲时间比较,依据自己的本地时钟进行差值记录,再依据这个差值对自己的本地时间进行修改,实现同步。

### 3.1.3 传输延迟

传输延迟是指发送节点消息发出之后,消息到达接收节点的时间间隔。当发送和接收节点两者的物理介质相同时,消息的延迟相对较小,相反,在广域网、各链路以及路由转发等过程中的延迟较大。由于传输延迟,导致同步到达时间具有不确定性,对同步的精度造成影响。发送节点发送消息之后,假定同步脉冲绝对参考时间在瞬间到达,也就是说,它到达每一个节点上的时间相同。在现实中,情况并非如此,由于受到环境、噪声、信号的干扰,网络负载、处理器负载等都会使得传播延迟存在差异。因此需要仔细测量、分析和补偿才能提出高精度的同步协议。

## 3.2 实际研究

本文设计了一个实验来验证提出的低能耗事后同步方案。设计思想是,信标节点在同一时间周期性地发出同步信号给每个接收器,并要求记录同步脉冲到达未知节点的时间戳。理想的情况下,本地振荡器如果在计时周期内没有可变时延,接收器的记录时间戳应该是相同的。实际上,以相同的频率周期性地广播同步消息,可以收集更多的误差来源的周期性报告,通过这些报告可以给出补偿的时间差的依据。

实验接收器是一台安装Linux操作系统的普通PC机。实验中用发送简单的TTL逻辑信号模拟

周期性的以固定频率发送的同步脉冲,接收器使用PC机标准的并行接口,在每个脉冲周期,接收机感知经过时间的刺激和同步脉冲,根据系统时钟,它有1微秒的裁决时间。这些报告的价值在于记录了时钟的偏离标准。随着时间间隔增加,同步的精度应该会降低。在实验中为了尽量减少操作系统的时延,使用Linux内核模块记录传入脉冲的并行端口中断处理程序。

为了理解同步是怎么受脉冲时间间隔的影响,本文测试在16微秒到16.8秒间取了21个不同的时间间隔值。对于每个时间值,都会记录接收报告中的到达时间戳,实验中时间间隔采取随机的顺序,以尽量减少中断延时、网络拓扑变化及其他环境导致的系统误差。

在整个实验的过程中,采取了如下三种不同的时钟配置,实验验证了三种不同配置环境在不同时间间隔下对同步精度的影响:接收器没有任何外部频率标准的本地时钟,称之为无纪律本地时钟;使用NTPv4客户端,带有主动的NTP脉冲,每个接收器允许同步,GPS时钟为10天,然后实验重复;删除NTP的外部时间源,使用训练的脉冲,允许NTP守护进程自由运转,使用本地时钟频率,然后实验重复。实验的结果如图1所示。

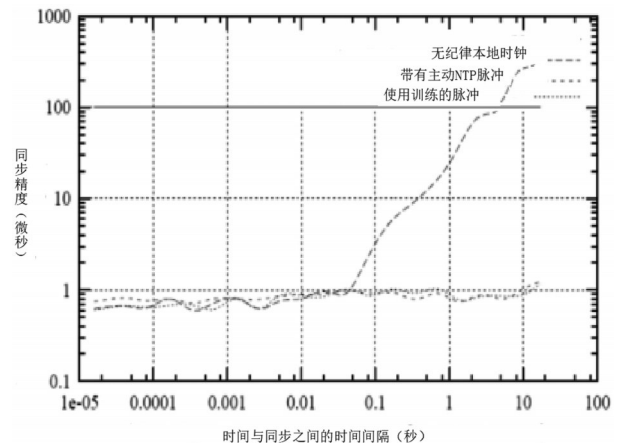


图1 实验结果图

## 4 结论

本实验中,分别给出了三种误差来源,将时间间隔设置成50毫秒,当小于这个时间间隔时,说明错误的来源是接收器延迟,本实验模拟数字接收与转换的硬件是PC并行端口,不可避免出现中断延迟。除了50毫秒,两个实验产生的数据表明,错误的来源是时钟偏移,同步间隔时间越大效果越明显。同步时间间隔偏小时可以通过补偿时间差来实现高精度同步。实验还发现,当NTP的节点振荡器的频率非常接近时钟决议1微秒精度时,实验



的数据明显优于NTP所取得的100微秒。显然,在实验中结合NTP的纪律频率,校正同步脉冲的瞬时相位,对于提高同步精度还是有一定效果的。

### 【参考文献】

[1]易柏言.关于无线传感器网络的时间同步技术探究[J].科技创新与应用,2021(15):152-153.

[2]袁颂岳.关于无线传感器网络的时间同步技术研究[J].信息记录材料,2021(12):222-224.

[3]张超,黄友锐,陈珍萍.一种低能耗多跳无线传感器网络时间同步算法[J].计算机应用与软件,2020(5):102-107.

[4]杜永文,冯珂,彭冲.多层动态分簇的WSN时间同步算法[J].传感技术学报,2017(7):1070-1075.

[5]李柏阳.浅析无线传感器网络时间同步方法[J].数字通信世界,2018(10):81-82.

(上接第15页)

提高AI模型信息业务类型预测的准确性。

6)通过AI模型对5G网络现有的业务信息数据类型进行预测,确定哪些业务信息为大众信息,哪些业务信息为用户下载频率较少的信息,并将大众信息数据放入具有信息存储能力的基站中。

7)在业务应用过程中,需要持续对业务应用效果进行动态跟踪评估,并反馈给AI模型进行分析迭代调优,从而保证AI模型应用效果持续提升。

本方案应用到某运营商的5G网络中,经过实验验证和数据统计,当网络中有16个具有信息存储能力的基站时,每个基站拥有13GB的信息存储容量,通过移动边缘计算将大众信息数据存放在这些基站中,可以获得100%的用户满意度和98%的同传卸载。

### 5 结论

本文通过深度学习算法进行移动边缘计算,实现所有业务数据无缝隙地在云平台和大量的移动终端之间转移,无需人工干预的情况下将用户使用频率高的业务数据放在靠近用户位置具有信

息存储能力的基站中,降低服务器和移动终端之间的信息传输时延,满足现场互动流媒体、车联网、VR、AR等新业务低时延的需求,提高用户的业务体验度和满意度,具有一定的经济效益和社会效益。

### 【参考文献】

[1]张嗣宏,左罗.基于人工智能的网络智能化发展探讨[J].中兴通讯技术,2019(2):57-62.

[2]陈晓鹏.5G移动通信技术在通信工程中的应用[J].大众标准化,2022(1):28-30.

[3]颜军.700M 5G网络覆盖能力分析[J].江苏通信,2021(5):10-15.

[4]田文静.浅谈700 MHz对移动5G带来的机遇和挑战[J].电信工程技术与标准化,2021(3):20-23.

[5]曹丽芳,江天明,邓伟,陈卓.5G频段间协同技术[J].电信科学,2021(8):148-154.

[6]孔令义.面向5G的网络优化和重构[J].电信科学,2020(2):117-125.

[7]王浩,赵伦.5G无线网络优化系统的设计与实现[J].湖南邮电职业技术学院学报,2022(2):5-8.