

一种节约无线传感网能耗的时间同步方法

张有杰,陈国庆

(东南大学 软件学院,江苏 苏州 215123)

摘要:无线传感器网络的迅速发展,对时间同步提出了更高的要求。针对无线传感网广覆盖、低功耗的特点,如何在保证时间同步精度的情况下尽可能地降低能耗成为一个亟待解决的问题。文中详细分析了无线传感器网络(WSN)中时钟同步技术的种类、特点及其在WSN设计中的作用,给出了时间同步的技术方案。本方法先对节点建立拓扑结构,采用LEACH分簇算法,结合TPSN算法和RBS算法,在全局范围内做了时间同步。结果显示,该方法比单纯使用TPSN算法和RBS算法有更少的能源消耗,同时具有接近于TPSN的同步精度。

关键词:无线传感器网络;时间同步;LEACH;TPSN;RBS

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)11-0041-04

One Time Synchronization Method Saving WSN Energy Consumption

ZHANG You-jie, CHEN Guo-qing

(College of Software Engineering, Southeast University, Suzhou 215123, China)

Abstract: With the rapid development of the wireless sensor network, the time synchronization plays an important role. For the wide coverage and low power consumption of the WSN, how to reduce energy consumption as soon as possible while ensuring the accuracy of time synchronization becomes a problem to be solved. It gives a detailed analysis of the category, characteristics and functions of the clock synchronization technology in the wireless sensor network (WSN), the time synchronization technical plan is presented. This method establishes the topological structure firstly, applies the LEACH algorithm, combined TPSN algorithm and RBS algorithm, conducts the time synchronization in the global scope. The results show that this method has less energy consumption and a close synchronous precision to TPSN.

Key words: the wireless sensor network; time synchronization; LEACH; TPSN; RBS

0 引言

传感器技术正朝着智能化、网络化等多元一体的方向发展,无线传感器网络正是在顺应这种需求应运而生的,它集合了传感器技术和网络通讯等技术于一身,具有信息采集、传输和处理等技术。无线传感器网络在军事、工业、医疗、交通等诸多方面有着潜在的应用价值,引起了军事部门和工业界的广泛关注,并被列为21世纪最有影响的21项技术和改变世界的10大技术之一。

时钟同步是分布式系统中的一项重要技术,同时在无线传感网中也尤为重要,是任何一个传感器网络都需要解决的一项共性技术,特别是对于强实时性系统,高精度的时钟同步技术是一个难点和一项关键技术。应用于无线传感网的高精度、低能耗的时间同步方法作为一项无线传感网的关键性技术,既是国际上

关注的热点基础研究之一,同时也是无线传感网设计与应用中必须解决的技术难点。研究者们从不同的研究角度提出了一些算法与协议,但是这一问题还是没有得到很好的解决。

高精度、低能耗的时间同步方法是传感网的一项关键技术。传感器网络的通讯协议和通信应用要求节点间的时钟必须保持高度同步;传感器节点内的数据融合和数据传输等都需要时钟同步的支持;节点在不同模式之间切换时也对时钟同步提出要求。

1 消息传递过程分解

在对WSN时间同步问题进行研究之前,首先将消息在WSN节点间的传递过程分解成几个不同阶段。一条消息在传感器节点间的传递过程可分解成以下六个部分:

(1) Send Time: 这是指发送消息的节点构造一条消息所花费时间,它取决于系统运作情况。

(2) Access Time: 消息构造完毕后,等待信道空闲所花费时间,即从节点构造消息结束到节点开始发送

收稿日期:2012-02-29;修回日期:2012-06-01

作者简介:张有杰(1988-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感网;陈国庆,教授,研究方向为无线传感网。

消息这段时间,主要取决于网络当前负载情况。

(3) Transmission Time: 节点按位发射消息所需时间,取决于所发消息长度和按位发射速率。

(4) Propagation Time: 消息在两个节点之间的介质中传播时间,由于电磁波在空气中传播速度是一定的,所以该时间主要取决于两节点间的距离。

(5) Reception Time: 节点按位接收消息并传递给物体层所花费时间。

(6) Receive Time: 接收节点组装消息并传递给上层应用所花费时间^[1]。

2 无线传感器网络时间同步算法

2.1 基于 Receive-Receive 同步算法—RBS 算法

RBS 算法是一种采用接收者之间进行同步的方法,它很好地排除了发送节点给同步精度带来的误差。它利用无线信道的广播特性,也就是说用广播的方式发送时间同步消息,对接收范围内的节点而言是同时发送到信道上的。

其基本过程是:发送节点周期性地向节点网络发送时间同步消息分组,接收到同步消息的节点根据自己的本地时钟记录下同步消息到达时间,然后任意两个节点相互交换记录下的消息到达时间信息,再估算出两节点间的初始相位差、频率差,从而得到这两节点之间的时钟偏差。在 RBS 算法中广播的同步消息不需要真实的时间戳信息,RBS 算法的关键点在于节点接收到同步消息时相互的本地时间差值^[2]。RBS 算法的原理图如图 1 所示,其中,一个发送节点发送同步消息,网络内节点接收消息,进行网络内部的同步。

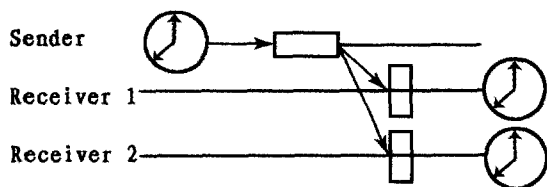


图 1 RBS 算法示意图

$$\forall i \in n, j \in n, \text{offset}[i, j] = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (T_{i,k} - T_{j,k}) \quad (1)$$

式中, n 为网络内节点数目, m 为进行同步广播的次数, $T_{r,b}$ 表示在收到广播 b 时记录的节点 r 的本地时钟。

由上式可知,网络内节点能够知道相互之间的时钟偏移量(offset),然后通过(1)式所形成的偏移量矩阵计算相对于网络内其他节点的时钟偏移量平均值,根据偏移量对本地时钟进行调整。当网络内的每个节点都取得了相对其它节点的时钟偏移量平均值时,进行调整后,网络内部节点便获得了一致的相对网络时间,达到网络内部的时间同步^[3]。

由于 RBS 算法通过采用接收者之间进行同步的

方法,避免了发送节点对同步精度所造成的影响,除了 Send Time, Access Time, Transmission Time 对同步的影响,从而提高了同步精度。但是由公式(1)也可以看出,RBS 算法两两之间计算时间差,当随着节点数的增加时,带来的能耗会急剧增加,在广覆盖、低能耗的多跳传输无线传感器网络中,不能很好的适用,且只能实现局部网络的时间同步,不能实现网络的全局同步。

2.2 基于 Pair-Wise 同步算法—TPSN 算法

TPSN 算法是一种类似于传统网络的 NTP 时间同步协议,该方法能够提供全局范围网络的节点时间同步。TPSN 的同步误差与跳数成正比增长。TPSN 协议的一个显著不足是过分依赖根节点,没有考虑根节点的死亡问题,当根节点死亡后,网络 top 结构就需要重新生成。

在应用 TPSN 算法前,需要假设每一个节点都具有唯一的 ID 号,其次假设传感器网络的通信链路是双向的^[4]。

TPSN 算法主要分为两个步骤:第一是为网络内所有节点建立层次性拓扑结构,处于下层的节点能与上层节点进行通信。第二是在建立层次结构之后,父节点与子节点以发送者与接收者同步的方式进行时间同步^[5]。

图 2 为 TPSN 算法示意图。

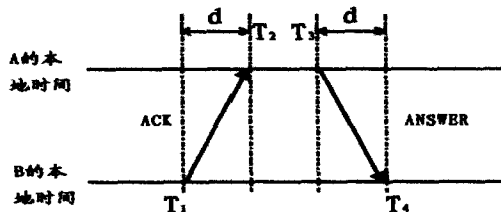


图 2 TPSN 算法示意图

其中,节点 A 属于父节点,节点 B 属于子节点,时刻 T_2 和 T_3 表示节点 A 的本地时钟在接收和发送时刻记录下的测量值, T_1 和 T_4 表示节点 B 的本地时钟在发送和接收时刻记录下的测量值。

$$\begin{cases} \Delta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2} \\ d = \frac{(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)}{2} \end{cases} \quad (2)$$

基于报文传输的对称性,可以认为请求报文和应答报文的传输时间 d 相等,节点 A 和 B 之间的时钟偏差为 Δ 。

TPSN 的同步误差取决于叶子距离根节点的跳数^[6],与网络内节点的总数无关,这使得 TPSN 同步精度不会随节点数目增加而降低,从而使得 TPSN 方法具有比较好的扩展性^[7]。TPSN 算法的缺点是过分依

赖根节点,当根节点能量耗尽,就要重新选择根节点并在此建立拓扑结构,这样会增加节点能量开销^[8]。

3 网络拓扑结构

3.1 建立带移动节点的网络拓扑结构

如图 3 所示,第一层为移动节点,获取标准时间;第二层为簇头节点,与移动节点直接通信;第三层为簇内节点,与簇头节点通信。

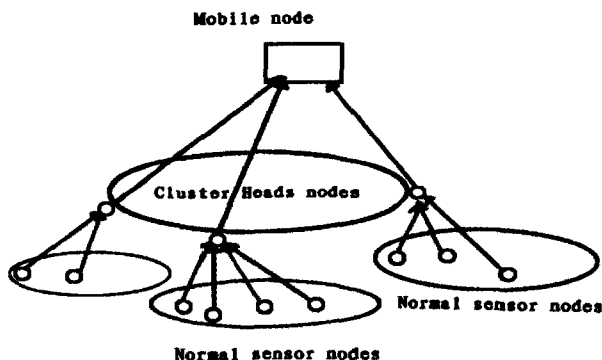


图 3 网络拓扑结构

3.2 簇头选择 (LEACH 算法)

由于簇头节点相比簇内节点需要消耗大量的能量,为了均衡消耗,采用簇头选择算法。

在进行同步过程之前,首先进行簇头节点的选择。每个节点都有可能充当本轮同步过程的簇头节点^[9]。这个主要取决于在整个网络中簇头节点占节点总数的比例,并且需要考虑此节点已担任过簇头节点的次数。具体方法如下:传感器节点在 0 和 1 之间随机选择一个值,如果这个值小于阈值 $T(n)$,则此节点会成为这一次同步过程的簇头节点^[10]。

$T(n)$ 的定义如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

在公式(3)中, p 为网络中簇头节点占节点总数的比例, r 为进行同步的轮数, G 表示在前 $1/p$ 轮中未担当过簇头节点的节点集。通过这个阈值的计算过程,可以保证网络中每个节点都会在前 $1/p$ 轮中担当一次簇头节点,用选择簇头节点的方法来平衡节点之间的能量消耗^[11]。

4 同步过程

本方法实施时可分为以下 A、B 两个部分,其具体步骤如下:

4.1 移动节点与簇头节点之间的同步 (TPSN)

(1)网络以移动节点为根节点向簇头节点广播一

个分组启动同步过程。

(2)簇头节点 i 接收到该广播消息分组后,就会发送 ACK 应答消息分组给移动节点,该消息包含发送应答消息的本地时间。

(3)移动节点接收到应答分组后,等待片刻,再发出一个包含自身本地时间戳的确认分组。

(4)节点 i 接收到该分组后,并利用 TPSN 同步算法计算本节点相对于移动节点的时钟偏差,调整自身时钟与移动节点达到同步。

4.2 簇头节点与簇内节点的时间同步过程 (TPSN+RBS)

(1)在某簇中,簇头节点在 T_1 时刻广播同步分组,簇内节点接收到广播信息后,用本地时钟记录接收到的分组时间,并随机选择一个节点 j 为应答节点。

(2)应答节点 j 记录下广播消息到达的时刻 $T_{2,j}$,并在 T_3 时刻发送应答消息。簇头节点在 T_4 时刻收到消息后,应用 TPSN 算法算出响应节点与簇头节点的时间偏差 δ ,如图 4 所示。

(3)非响应节点相互交换各自对于 time-sync 广播信息的本地记录时间 $T_{2,k}$,采用 RBS 算法,达到非响应节点之间的同步。

$$\forall i \in n, j \in n: \text{offset}[i, j] = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (T_{i,k} - T_{j,k}) \quad (4)$$

其中 n 为非响应节点的数目, m 为参照广播次数, $T_{r,b}$ 表示在收到参照广播 b 时非响应节点 r 的本地时钟。

上式形成的偏移量矩阵计算相对网络内其他所有节点时钟偏移量的平均值,并对本地时钟进行相应的调整。当网络内每个节点根据平均偏移量平均值修改本地时钟后,所有接收到同一参照广播消息的节点获得了一个相对网络时间 $T_{2,k}$ ^[12]。

(4)簇头节点此时再广播一个同步消息,记录应答节点接收广播消息时间 $T_{2,j}$ 和应答节点与簇头节点的时间偏差 δ 。簇内其余节点接收到该消息后,与自身本地时钟 $T_{2,k}$ 相比较,得到与簇头的时间偏差为 $\delta' = T_{2,k} - T_{2,j} + \delta$,如图 4 所示。

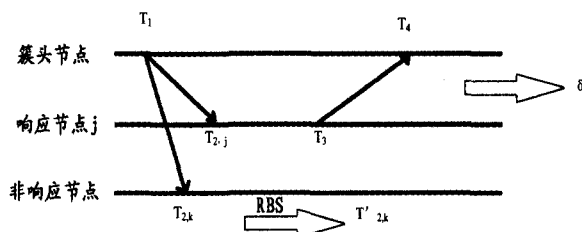


图 4 簇头节点与簇内节点的同步过程
经过上述一系列步骤,达到全局时间同步。

5 能量比较

本方法在能耗上相对于 TPSN、RBS, 取得一些比较好的成果。

如图 5, 横坐标表示进行时间同步的轮数, 纵坐标表示至本轮时间同步至第一个节点死亡所进行的次数。得出结论为: 每轮时间同步, 本方法至第一个节点死亡所能进行的时间同步次数远远高于 TPSN、RBS。

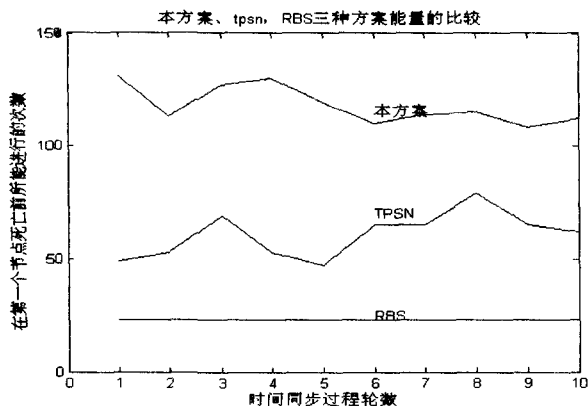


图 5 三种方案的能量比较(1)

如图 6, 横坐标表示节点数从 50 到 500, 纵坐标表示至每一轮时间同步至第一个节点死亡所进行的次数。得出结论为: 随着节点数的增加, 本方法至第一个节点死亡所能进行的时间同步次数保持在一个平均水平, 而 TPSN、RBS 随着节点数的增加所能进行的时间同步次数急剧下降。

从图中可知, 本方法在能耗上与 TPSN、RBS 有着很大的优势, 且具有很好的扩展性、鲁棒性。

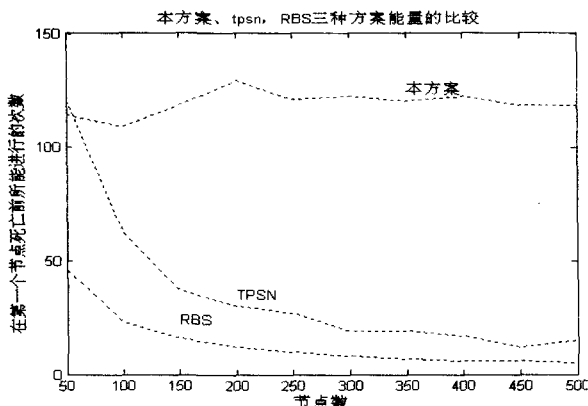


图 6 三种方案的能量比较(2)

6 精度比较

6.1 移动节点与簇头节点之间的同步 TPSN

对于一对时钟为 4MHz 的 Mica 节点, TPSN 时间同步的平均误差为 16.9us, 而 RBS 所带来的误差为 29.13us^[13]。TPSN 的精度近似是 RBS 的两倍。

6.2 簇头节点与簇内节点之间的同步 TPSN+RBS

簇头节点与一随机节点通过 TPSN 时间同步的同

时, 其余节点通过接收节点之间的同步 RBS 达到一个统一的时间, 此时, 该随机节点广播它的时间值, 其余节点能迅速修改它们的时间。在一个同步过程, 精度是接近于 TPSN 而远大于 RBS。

采取这样的同步策略, 精度上是大于 RBS, 同时接近于 TPSN 的。亦即在几乎不损失精度的前提下, 大幅度降低了 WSN 的能耗。

7 结束语

本方法在保证精度的情况下, 节约了网络中的节点能耗, 提高了网络中节点的生存周期。对于同步精度问题, 由于变量的范围的原因, 在模拟仿真上无法确定进行同步方法后根节点的时间, 只在理论上进行了一定的分析。

参考文献:

- [1] 杨雷雷, 朱 军. 无线传感器网络中异步成簇算法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 145-147.
- [2] 曾兴胜, 黄 东. GPON 中业务数据的同步机制设计[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 33-36.
- [3] 王 晶, 程文青. 多媒体课件制作工具中时间线机制的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2005, 15(7): 89-92.
- [4] Yadav P, Yadav N, Varma S. Cluster based hierarchical wireless sensor networks (CHWSN) and time synchronization in CHWSN[C]//International Symposium on Communications and Information Technologies. [s. l.]: [s. n.], 2007: 1149-1154.
- [5] Maróti M, Kusy B, Simon G, et al. The Flooding Time Synchronization Protocol[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. [s. l.]: ACM Press, 2004: 39-49.
- [6] Ren F Y, Huang H N, Lin C. Wireless sensor networks[J]. Journal of software, 2003, 14(2): 1148-1157.
- [7] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1717-1727.
- [8] 吴 臻, 金心宇. 无线传感器网络的 LEACH 算法的改进[J]. 传感技术学报, 2006, 19(1): 34-36.
- [9] 于海斌, 曾 鹏. 智能无线传感器网络系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 119-139.
- [10] 白凤娥, 王莉莉, 马艳艳, 等. 无线传感器网络路由协议 LEACH 的算法分析[J]. 太原理工大学学报, 2009, 40(4): 348-352.
- [11] 陈 静, 张晓敏. 无线传感器网络簇头优化分簇算法及其性能仿真[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 2787-2792.
- [12] 王 殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. WSN 的理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [13] 杨宗凯, 赵大胜, 王玉明, 等. 传感器网络虚拟骨干构造算法及时钟同步应用[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(8): 12-15.