

低开销的无线传感器网络时间同步算法研究

姜颖¹ 郭淑霞¹ 高金乔¹ 王洪泊²

(河北工业大学 廊坊 065000)¹ (北京科技大学计算机与通信工程学院 北京 100083)²

摘要 传统的TPSN时间同步算法虽然能快速而高效地同步网络上节点的时间,但是在节点频繁加入和失效的情况下,其效率低下。针对以上不足,提出了一种改进的无线传感器网络时间同步算法——ITPSN。该算法不需要构建网络的拓扑结构,能高效地处理网络中节点加入和节点失效情况下的时间同步。实验结果表明,该算法明显提高了网络的健壮性,在节点密集部署的情况下,减少了节点的能量消耗,从而提高了节点的使用寿命。

关键词 无线传感器网络,时间同步,低开销,算法

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Low Overhead Time Synchronization Algorithm for Wireless Sensor Network

JIANG Ying¹ GUO Shu-xia¹ GAO Jin-qiao¹ WANG Hong-bo²

(Hebei University of Technology, Langfang 065000, China)¹

(School of Computer & Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)²

Abstract Traditional TPSN algorithm can synchronize time between nodes quickly and efficiently, but has poor efficiency when nodes join and fail frequently. This paper proposed an improved time synchronization protocol for wireless Sensor Networks—ITPSN. The algorithm doesn't construct the topology of the network, and it is efficient when nodes join and fail frequently. Experiments show that the algorithm improves the robustness of the network, and in the case of dense nodes deployment, reduces the energy consumption to improve the life of nodes.

Keywords Wireless sensor network, Time synchronization, Low overhead, Algorithm

1 引言

随着技术的不断进步,微小的低功耗器件能够执行感知和通信任务,这预示出现了传感器网络。传感器网络是一种特殊类型的 Ad hoc 网络,一经出现便得到许多研究人员的高度重视。在传感器网络中,无线设备(作为网络的节点)聚集在一起组成一种临时的网络,它并不需要其它的网络基础设施。传感器网络不需要路由器等基础设施,节点在该网络中通过相互转发消息来进行通信。从消息源点到目标点的通信过程是一条消息交换的路径,这是一种典型的多跳通信环境。作为一类特殊的 Ad hoc 网络,传感器网络有其自身的特点,如节点的能源有限、节点部署的密度高、节点的价格低而可靠性不高等。由于多传感器网络的诸多限制,使得传感器网络常常被用在复杂的任务上,如环境监测、战场信息收集、紧急救援等等,这些应用可以将现实世界的信息转换为虚拟的计算机世界。

正如在其它的分布式系统中一样,时间同步^[1]在传感器网络中仍然是一项非常重要的工作。在计算机网络中,时间同步给网络中的所有节点提供一个共同的时间表。由于传感

器网络中各个节点的局部时钟都有一定的误差,节点的逻辑时钟会在相互通信中产生漂移,因此网络中观测到的时间或者时间间隔在不同的节点产生不同的具体值。然而,对于很多的网络应用或网络协议来说,在任何时刻,都需要为节点提供一个统一的时间表。

本文对无线传感器网络的时间同步机制进行了研究。当网络中有节点失效和节点加入时,传统的 TPSN 算法需要重新构建网络的拓扑结构,因此开销比较大。针对此种情况,本文提出了改进的 TPSN 算法——ITPSN。该算法不需要构建网络的拓扑结构,能高效地处理网络中节点加入或节点失效情况下的时间同步。

2 相关工作

在无线传感器网络出现之前就已经对时间同步进行了广泛的研究。典型的时间同步方式是原子时钟,如 GPS(Global Positioning System)。由于传感器节点的能耗和价格约束,给每一个传感器节点安装一个 GPS 接收器显然是不可行的。此外, GPS 卫星信号的接收受到视线的影响,它只能在室外应用。由于传感器节点的硬件时钟往往设计简单,在应用中

到稿日期:2013-05-08 返修日期:2013-09-07 本文受河北省教育厅资助项目(103004),河北省高等学校自然科学研究青年基金项目(2010121)资助。

姜颖(1971—),女,硕士,讲师,主要研究方向为网络技术与信息安全、图像处理, E-mail: ying_jiang_q@163.com; 郭淑霞(1968—),女,硕士,副教授,主要研究方向为网络技术与信息安全、数据挖掘; 高金乔(1978—),女,硕士,讲师,主要研究方向为无线通信、模式识别; 王洪泊(1972—),男,博士,副教授,主要研究方向为协调智能调度、移动/迁移计算。

存在大量的时钟漂移现象,因此传感器网络往往需要复杂的时间同步算法。此外,与有线网络相比,无线传感器网络的多跳现象使得节点间的时间同步问题更为复杂,因为简单的客户端/服务器时间同步方法在无线传感器网络中并不适用。

随着无线传感器网络时间同步方法的研究,学者们提出了许多不同的算法,其主要分为基于 Receiver-Receiver 机制的时间同步算法、基于 Pair-Wise 的时间同步算法和基于 Sender-Receiver 机制的时间同步算法。

J. Elson 等人提出的参考广播同步(Reference Broadcast Synchronization)^[2]是一种典型的基于 Receiver-Receiver 机制实现接收节点之间时间同步的算法。参考广播同步利用物理信道的本质特性实现多接收节点与参考节点之间的同步。在每一簇节点中选取一个节点作为参考节点,然后利用该参考节点与其它节点进行时间的同步。如果忽略参考消息在网络中传输的误差,那么该参考消息将同时到达被同步的节点。每个节点记录下参考消息的接收时间戳,然后彼此间相互交换时间戳,通过计算相对时间偏移来同步时间。该方法的主要优点是排除了发送方延迟的不确定性,同步精度较高;缺点是仅适用于一跳的时间同步机制,并且能耗太大,不适合有限能量供应的应用场合。

基于 Pair-Wise 的时间同步算法有 TPSN 算法^[3]、Tiny-sync 和 Mini-sync 算法^[4]、LTS 算法^[5]、ATS 及 Adaptive-ATS 算法^[6]。在网络的初始发现阶段,TPSN 算法选取一个根节点,并根据该根节点建立一个扩张树。在算法的同步阶段,每个节点与其父节点进行两路数据交换来完成时间的同步。因为每个节点都要与其父节点进行两路的数据交换,所以该算法的缺点是网络开销大。Tiny-sync 和 Mini-sync 算法在时间通过的过程中,每个节点连续接收来自其它节点的同步信息,当节点接收到的同步信息的时间误差小于节点自身的时间误差时,更新节点的时钟值;如果节点接收到的同步信息的时间误差大于节点本身的误差时,丢弃该同步信息;当系统内各个节点的时钟不再改变时,整个系统达到了同步。Tiny-sync 和 Mini-sync 算法的信息交换量少,开销小,对网络通信带宽,存储容量的占用小,适合应用于无线传感器网络。基于 Tiny-sync 和 Mini-sync 算法,Greunen 和 Rabaey 提出了 LTS(Lightweight Tree-based Synchronization)算法。区别于 Tiny-sync 和 Mini-sync 算法,LTS 算法的目的并不是提高时间同步的精确度,而是减小时间同步的复杂度,最小化同步的能量开销。ATS(Average Time Synchronization)算法由清华大学提出,其主要思想是:在一个节点簇中,假设簇内节点可以相互通信,簇的根节点收集本簇内其它节点的本地时间,取平均值后转发给其它节点。在 ATS 算法的基础上,Adaptive-ATS 增加了算法的适应性和扩展性。

基于 Sender-Receiver 机制的时间同步算法包含发送节点和接收节点两部分,发送节点发送一个包含本地时间戳的时间同步消息,接收节点将本地接收时间与同步消息中的时间戳进行比较来调整本地时钟。典型的基于 Sender-Receiver 机制的时间同步算法有延迟测量时间同步(Delay Measurement Time Synchronization,DMTS)算法^[7]和泛洪时间同步协议(Flooding Time Synchronization Protocol,FTSP)^[8]。DMTS 算法基于同步消息在传输路径上所有延迟的估计,来实现节点间的时间同步。该算法通过牺牲部分精度来换取计

算复杂度和能耗,是一种轻量的能量有效的的时间同步算法。DMTS 算法使用单个广播消息实现发送节点与接收节点之间的时间同步,其目标是实现整个网络的时间同步并且误差控制在微秒级。

3 改进的 TPSN 算法

3.1 TPSN 算法

TPSN 算法在无线传感器网络中选取一个节点作为中心节点,并根据中心节点向其它节点辐射。如图 1 所示,在辐射过程中,将所有的节点建立一个树形的层次结构,其中心节点为树的根,每辐射一次,节点的层次加 1。

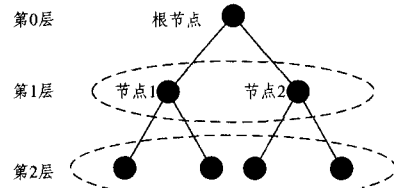


图 1 TPSN 的拓扑结构

构建完上述的拓扑结构后,根节点按照拓扑结构依次向下层发送同步信息^[9],每个节点只接收其上一层发来的同步消息。当所有节点都接收到上层的同步消息后,整个系统的时间达到了同步。节点与其上层节点的时间同步过程如图 2 所示。

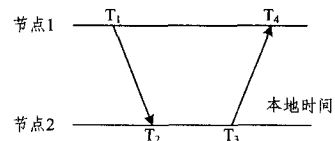


图 2 两路同步方法

在 T_1 时刻,上层节点 1 发送一个同步消息数据包到节点 2,节点 2 在 T_2 时刻接收到该信息。该同步消息数据包包含发送和接收时间(T_1, T_2)。用 Δ 和 d 来分别表示两个节点间的时间漂移和数据包传播时间,时间信息满足如下公式:

$$T_2 = T_1 + d + \Delta \quad (1)$$

当节点 2 在 T_3 时刻向节点 1 回复数据包时,数据包包含有(T_1, T_2, T_3),节点 1 在 T_4 时刻接收到该数据包,此时满足如下公式:

$$T_4 = T_3 + d - \Delta \quad (2)$$

根据式(1)和(2),可以分别求出 Δ 和 d ,其计算公式如下:

$$d = \frac{(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)}{2} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2} \quad (4)$$

当计算出了节点与上层节点之间的时间偏移 Δ 之后,节点便可以对本地时间进行更新,从而达到整个网络的时间同步。

3.2 ITPSN 算法

TPSN 算法在节点加入和节点失效的情况下需要重新构建网络的拓扑结构,因而可扩展性低,并且时间同步的开销大。为了减少节点加入和节点失效时网络的时间同步开销,本文提出了一种改进的 TPSN 算法——ITPSN。

初始化:网络节点部署结束后,在网络中选取一个根节

点,然后向其邻居节点发送时间同步的数据包;每个节点在收到时间同步数据包后更新本地时间;重复上述发送数据包和更新本地时间的过程直到网络中所有的节点时间同步,如图3所示。该方法去掉了TPSN算法的层次结构,但是其由根节点向外辐射的过程仍然是一个树的过程,因而其同步时间与TPSN是一致的。

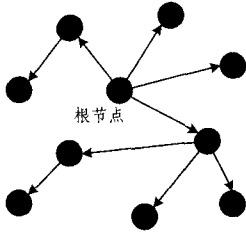


图3 网络的初始化过程

节点失效:在网络节点失效后,由于网络中的节点没有层次消息,因此不需要对网络重新构建层次结构图。

节点加入:当网络中的所有节点都处于时间同步时,如果有新的节点加入,则其向邻居节点发送同步请求;邻居节点在收到时间同步的请求后,向请求节点发送时间同步数据包;请求节点在收到同步数据后更新本地时间。

节点加入时,网络的同步过程如图4所示。当节点a加入网络时,a向其邻居节点b,c,d和e发送时间请求同步信息,节点b,c,d和e在收到请求后,分别向a发送时间同步数据包。

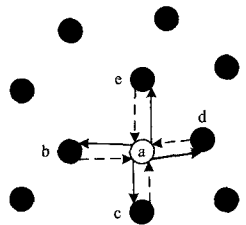


图4 节点加入时网络的时间同步过程

假设新加入的节点在网络中有 n 个邻居节点,且时间同步数据包顺序到达。当新加入的节点收到时间同步数据包后,其更新过程如下:当该节点收到一个数据包时,用该包内包含的时间信息对本地时间进行更新;当收到第2个数据包时,用这两个数据包的平均值更新本地时间;重复上述过程,直到收到 n 个数据包,并且用 n 个数据包的平均值更新本地时间。新加入节点 m 的本地时间 T_m 的计算公式如下:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

4 模拟实验与分析

实验环境如下:在面积为 $100 \text{米} \times 100 \text{米}$ 的范围内,网络的节点数为20,节点的通信半径为40米,采用Matlab平台作为分析的工具。本文应用一个 6×20 的矩阵来表示无线网络中的节点,每一列表示一个节点的相应信息,每个节点的第1行表示节点的ID,第2,3行分别表示节点的横坐标和纵坐标,第4行表示每个节点的初始时间,第5行表示每个节点所在的层次,第6行表示节点的剩余能量。

当某一普通节点失效时,TPSN和ITPSN分别按照各自的方法重新对网络中的节点进行时间的同步,图5为节点失

效后网络中节点同步时间与误差间的关系。

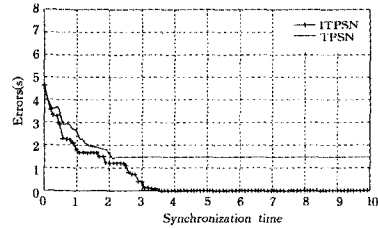


图5 普通节点失效同步时间与误差的关系

当根节点失效时,TPSN算法选取能量最多的节点作为新的根节点,然后继续扩张,完成层次图的构建。本文提出的ITPSN算法同样选取能量最多的节点作为新的节点,区别在于ITPSN算法并不需要重新构建系统的层次图。图6为TPSN和ITPSN两种算法在根节点失效后,网络中节点同步时间与误差间的关系。

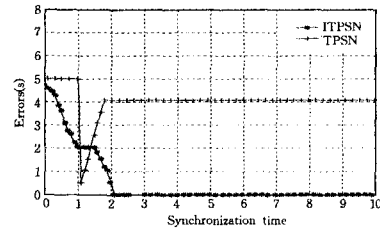


图6 根节点失效同步时间与误差的关系

TPSN算法中,在节点失效后,需要对网络的层次重新计算,网络参数需要重新配置。当新节点加入时,通过计算新加入节点和邻居节点的最短路径来判断新节点到根节点的距离。在ITPSN算法中,只需要通过邻居节点便可以计算出新加入节点的同步时间值。从图7可以看出,ITPSN算法明显减少了TPSN算法的同步时间,尤其在节点密集部署的情况下。

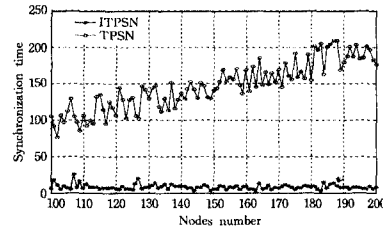


图7 节点数与同步时间的关系

从上述实验中可以看出,ITPSN算法可以有效地解决因节点失效和新节点加入带来的误差问题,明显提高了网络的健壮性。在节点密集部署的情况下,ITPSN算法可以减少节点在时间同步过程中信息包的发送时间,减少节点的能量消耗,从而提高节点的使用寿命。

结束语 在无线传感器网络中,节点的时间同步一直是学者们关注的重要研究课题。提供准确的时间是传感器对外提供服务的必要前提,含有不准确时间的信息对用户来说是无意义的。当网络中频繁出现节点失效和节点加入时,传统的TPSN时间同步算法因需要重构网络拓扑而导致网络流量开销和能耗较大。本文提出的改进TPSN时间同步算法只需通过邻居节点发送的数据包来更新本地时间,在节点密集部署的情况下,降低了因节点失效和节点加入带来的处理开销,大大提高了无线传感器网络时间同步的效率。

(下转第158页)

2. 选取不同的属性个数直接影响基于 MapReduce 的贝叶斯分类器的准确率;从图 8 看出对属性个数选取从 1—6 的正确率逐渐上升。说明一定程度上,检测属性个数越多正确率越高。但是,由于硬件条件和实现难度的局限,借鉴国外重点实验室数据分析的结果和国内入侵检测研究的论文,初步确定训练数据选取 6—8 个属性值进行检测。

5.3 检测效率随 Hadoop 集群节点数变化

为测试基于 MapReduce 检测僵尸网络的贝叶斯算法随节点数变化的性能,本文将原数据集放大,实验 C 仍采用普通 PC 单机,实验 D 的 Hadoop 集群分别采用 1 台、2 台、3 台、4 台同配置的节点。比较同样数据量在不同节点数时检测所需的时间。该实验结果分别以表 3 和图 9 折线图表示。

表 3 不同节点数检测时间比较(单位:毫秒)

实验组别	机器数	检测时间
实验 C	1	99489.0
	1	80867.0
实验 D	2	80838.0
	3	76762.0
	4	74643.0
	5	71689.0
	6	71656.0

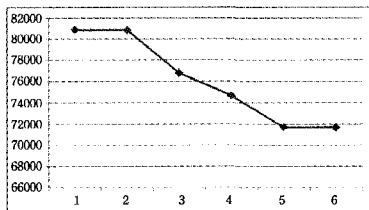


图 9 不同节点数检测时间比较

图 9 中横坐标代表的是 Hadoop 集群上不同的节点数,纵坐标代表运行时间。

由表 3 和图 9 可见,Hadoop 集群节点数越多,检测所需时间越少。由于网络传输延迟、任务分配量变大等原因,随着节点数增多,运行时间缩小程度不明显。

结束语 利用贝叶斯分类算法能有效地检测僵尸网络,

但僵尸网络流量大及贝叶斯分类器前期需要对大量的网络数据集进行训练和学习,从而占用较多的系统资源和网络资源。为此,本文提出基于 MapReduce 僵尸网络的贝叶斯检测算法,把贝叶斯算法训练阶段求先验概率、条件概率和检测阶段后验概率的计算分别并行化处理,解决了大量数据在贝叶斯算法中耗用资源的问题。实验表明,该算法具有很好的执行效率。

参考文献

- [1] Oikarinen J, Reed D. Internet relay chat protocol [R]. Request for Comments (RFC) 1459, IETF, May 1993
- [2] Jiang H, Shao X. Detecting P2P botnets by discovering flow dependency in C&C traffic [J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2012, 5: 1-12
- [3] 李晓桢,程佳,胡军. 基于聚类分析的僵尸网络识别系统 [J]. 计算机系统应用, 2009, 8: 130-135
- [4] 王威,方滨兴,崔翔. 基于终端行为特征的 IRC 僵尸网络检测 [J]. 计算机学报, 2009, 32(10): 1980-1988
- [5] 蒋鸿玲,邵秀丽. 基于神经网络的僵尸网络检测方法 [J]. 智能系统学报, 2013, 8(2): 113-118
- [6] Goebel J, Holz T. Rishi: identify bot contaminated hosts by irc nickname evaluation [C] // Proceedings of USENIX First Workshop on Hot Topics in Understanding Botnets. Cambridge, USA, 2007: 1-12
- [7] 杜跃进,崔翔. 僵尸网络及其启发 [J]. 中国数据通信, 2005, 7(5): 9-13
- [8] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: Simplified data processing on large cluster [J]. Communications of the ACM, 2005, 51(1): 107-113
- [9] 陶永才,薛正元,石磊. 基于 MapReduce 的贝叶斯垃圾邮件过滤机制 [J]. 计算机应用, 2011, 31(9): 2412-2416
- [10] 张鹏,唐世渭. 朴素贝叶斯分类中的隐私保护方法研究 [J]. 计算机学报, 2007, 30(8): 1267-1276

(上接第 131 页)

参考文献

- [1] Fikret S, Bülent Y. Time synchronization in sensor networks: a survey [J]. IEEE Network, 2004, 18(4): 45-50
- [2] 肖竹,谭光华,李仁发,等. 无线传感器网络中基于超宽带的 TOA/AOA 联合定位研究 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(3): 453-460
- [3] Saurabh G, Ram K, Mani S. Timing-sync protocol for sensor networks [C] // Proceedings of the 1st international conference on embedded networked sensor systems, 2003. Los Angeles, CA, USA: ACM Press, 2003: 138-149
- [4] Sichertiu M L, Chanchai V. Simple, accurate time synchronization for wireless sensor networks [J]. Wireless Communications and Networking, 2009, 2: 1266-1273
- [5] Greunen J V, Jan R. Lightweight time synchronization for sensor networks [C] // Proceedings of the 2nd ACM international conference on wireless sensor networks and applications, 2003. San Diego, CA, USA: ACM, 2003: 11-19
- [6] Li Li, Liu Yong-pan, Yang Hua-zhong, et al. A Precision Adaptive Average Time Synchronization Protocol in Wireless Sensor Networks [C] // Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation, 2008. Zhangjiajie, China, 2008: 20-23
- [7] 王义君,钱志鸿,王桂琴,等. 无线传感器网络能量有效时间同步算法研究 [J]. 电子与信息学报, 2012, 34(9): 2174-2179
- [8] Miklós M, Branislav K, Gyula S, et al. The Flooding Time Synchronization Protocol [C] // Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, 2004. Los Angeles, CA, USA: ACM Press, 2004: 39-49
- [9] 周鸣争,汪军,严楠,等. 无线传感器网络中一种基于行为可信的访问控制机制 [J]. 计算机科学, 2012, 39(B06): 72-76
- [10] 刘政,狄佳. 一种自适应 Huffman 算法在无线传感器网络数据压缩中的应用 [J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2013, 27(2): 84-88