

移动无线传感器网络基于扩散的时钟同步

刘冰

(北京电子科技学院 北京 100070)

摘要 研究了移动无线传感器网络中基于扩散的时钟同步方法,针对当前移动无线传感器网络时钟同步速度较慢的问题,对影响时钟同步性能的要素进行了分析,并做出了两点改进以提高同步速度。通过仿真的方法,说明移动无线传感器网络的同步运算轮次、网络节点数目、节点通信范围和运动速度都对同步速度有影响,通过改变节点参与同步运算的概率可以在不增加总计算量的同时提高同步速度。仿真结果证明,与其他同步方法相比,基于扩散的时钟同步可以充分利用移动无线传感器网络中节点移动的特性,并且改进方法可以进一步提高网络的同步速度。

关键词 移动无线传感器网络,时钟同步,分布式

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Diffusion-based Clock Synchronization in Mobile Wireless Sensor Networks

LIU Bing

(Beijing Electronic Science and Technology Institute, Beijing 100070, China)

Abstract The diffusion-based clock synchronization in mobile wireless sensor networks(mWSNs) was researched. To improve the synchronization speed, the essential factors that affect the synchronization performance were analyzed, and two new schemes were put forward. Through simulations, it was illustrated that the synchronization operation rounds, the amount of nodes in networks, the communication range and motion speed of nodes all affected the synchronization speed in mWSNs. By giving different operating probability to nodes, the synchronization performance can be improved in the limit of sum of operations. The simulation results show that the diffusion-based clock synchronization can enhance the performance in mWSNs utilizing the mobility of nodes, and the two new schemes can improve the synchronization speed further.

Keywords Mobile wireless sensor networks(mWSNs), Clock synchronization, Distribution

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)^[1]由分布在一定区域内的大量传感器节点组成,节点间通过无线通信形成一个自组织的网络,主要功能是由节点采集物理信息,进行一定处理后将其传给一个或多个的汇聚节点。除了静态的无线传感器网络外,在很多实际应用中,网络中节点的移动是不可避免的,因此提出了移动无线传感器网络(mobile Wireless Sensor Networks, mWSNs)的概念来监测野生动物的生活、追踪病人的心跳情况等。同时,引进移动节点可以拓宽网络空间的采样能力,比如可以应用移动节点收集其他静止节点的数据。

时钟同步对无线传感器网络的正常运行起着关键的作用^[2],但无线传感器网络的时钟同步问题面临着许多挑战。首先,资源的限制如有限的电池和有限的带宽,使得算法不能过于复杂;第二,无线介质的广播特质引入了数据包的冲突甚至丢失,这就增大了数据包路由的时延方差;第三,无线传感器网络是由许多低廉的传感器组成,并用低廉的晶体提供时钟,这更容易受到时钟漂移的影响,且变化速率未知。

针对无线传感器网络的时钟同步问题,常用的比如 GPS(Global Positioning System)^[3],能够对网络中每一个节点提供精确的时钟,但是要求节点在卫星轨道的直线视野内。文献[4]提出了 RBS(Reference Broadcast Synchronization)算法:一个节点周期地向邻居节点广播标志信息,邻居节点用此信息的到达时间作为参考点对时钟的读取进行比较。邻居对间交换局部时间戳计算出时钟差来实现同步。但节点间交换信息所产生的开销,会随着网络的规模增大而增加。文献[5]提出了一种层次同步法 TPSN(Timing-sync Protocols for Sensor Networks),该算法对网络中的节点建立了树状结构,每个节点与它的父节点交换时间戳,实现下游节点与上游父节点的同步。这种方法随着树的深度增大,同步的精度会变差,另外伴随着节点死亡和加入,网络经常需要重新同步,稳定性较差。

以上几种算法对节点静止的无线传感器网络比较合适,但当网络中存在移动节点时,网络的时钟同步会遇到新的问题。例如,当网络中存在移动节点时,依靠建树结构进行层次同步的 TPSN 算法,在节点树的维护上面临着巨大挑战,其维护代价会随着移动节点的数量和速度而增大。当超过一

本文受国家自然科学基金项目(61070219),北京电子科技学院重点实验室基金项目(YQNJ1002)资助。

刘冰(1976-),男,博士,讲师,主要研究领域为信息论、密码学和通信网,E-mail:bing76@gmail.com。

定限度后,此种层次同步的方法将无法适用。但如果设计得当,节点的移动对时钟同步也是一种机会,可以提高网络时钟同步的性能和效率。在文献[6]中提到,可以使用节点的移动来传递时钟信息,以达到时钟同步。

在文献[7]中提到了一种基于扩散的时钟同步方法。在该算法中,节点只与邻居节点进行本地时钟值的交换和更新,不需要全局性的操作,也不需要某个全局的时钟基本点。尤其是存在移动节点的情况下,本方法仍然有效,本文工作验证了这一点。

在网络的时钟同步算法中,同步速度是一个非常重要的性能指标。由于无线传感器网络中节点廉价、通信质量不高,甚至是存在恶意节点,使得各节点的时钟经常会发生扰动,此时同步速度决定着网络功能恢复正常的速度。又由于节点的能量受限,设计提高同步速度的算法不可能过于复杂。性能和效率的矛盾给解决问题提出了巨大挑战。为了提高网络的时钟同步速度,本文对移动无线传感器网络中影响基于扩散时钟同步算法性能的参数进行了分析,还提出了两种高效的改进方法,指出通过调整节点参与同步运算的概率,可以在不增加节点运算问题的前提下提高网络同步的速度。

2 基于扩散的时钟同步算法仿真分析模型

2.1 基于扩散的时钟同步算法

依次对网络中每一个节点 n_i 执行以下操作:(1) 询问该节点所有可以通信的邻节点的时钟值;(2) 计算该节点与邻居节点的时钟平均值;(3) 将该平均值赋予节点 n_i 和所有邻居节点;(4) 所有节点完成后,等待下一轮,回到(1)。

在文献[7]中证明了,只要网络连通并且所有节点都参与到操作中来,扩散算法就可以使节点的时钟都收敛于平均值,其时钟误差随时间以指数形式下降。

2.2 移动无线传感器网络仿真环境设定

误差度量采用节点时钟标准差。节点在范围为 10×10 的矩形区域内做随机运动。节点依次进行一次平均运算作为一轮。对收敛速度有影响的因素包括运算轮次、节点数目、节点的通信范围和运动速度等。在以下的分析中,依次考察这几种因素对收敛速度的影响。在仿真中对于没有特别说明的因素其默认值为:轮次 50,节点数目 100,通信范围 2.5,平均速度 2。

设在仿真中有 n 个节点,取节点 n_0 的初始值为 100,其它节点均为 0。虽然在实际网络中,可能不只一个节点具有非零的初始时钟值,但可以把具有 n 个节点的网络看成是 n 个网络的叠加,每个网络中分别只有一个节点具有非零初始值,则实际网络的收敛速度不慢于此 n 个网络中最慢的。因此通过对只有一个非零节点的网络收敛速度的分析可以了解任意实际网络的收敛速度。

3 基于扩散的时钟同步方法仿真分析结果

3.1 收敛速度与运算轮数的关系

在实验中,节点 n_0 的初始时钟值为 100,每次平均运算后, n_0 将时钟值的一部分传递给相邻节点。因此,网络时钟的绝对误差值大致呈指数下降(对应相对误差值约呈线性下

降),实验结果证实了这一分析,如图 1 所示。

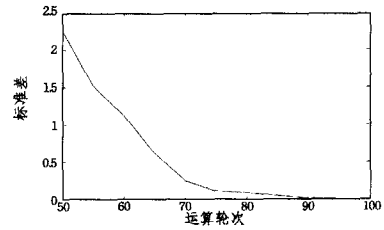


图 1 误差与运算轮次的关系

3.2 收敛速度与节点数目的关系

时钟同步结果的错误率随着参与同步运算的节点个数的增加呈指数下降,如图 2 所示。其原因是随着节点数的增加,节点密度变大,网络的连通性变得越来越强,参加每次操作的节点数越来越多。

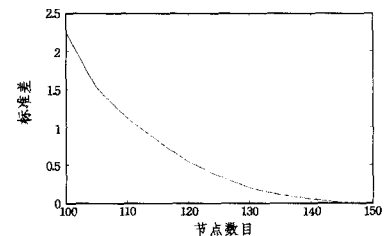


图 2 误差与节点数目的关系

3.3 收敛速度与节点通信范围的关系

当网络的其它参数保持不变时,节点通信范围的增大会加快时钟收敛速度,如图 3 所示。这是因为通信范围的增大会使节点的邻居数目变多,从而使每次操作所参与的节点数增多。

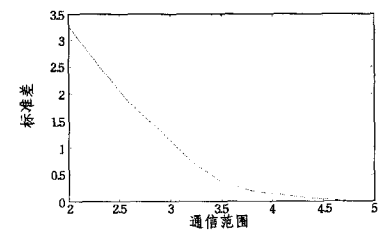


图 3 误差与节点通信范围的关系

3.4 收敛速度与节点运动速度的关系

在扩散算法中,当节点运动速度加快后,由于节点可以更频繁地与不同的节点进行时钟信息的交换,因此在进行同步时,其收敛速度会加快,如图 4 所示。由此可以看到,在使用扩散算法进行时钟同步时,节点的运动给同步效果带来的是有益的影响,因此扩散算法非常适合节点移动的情况。

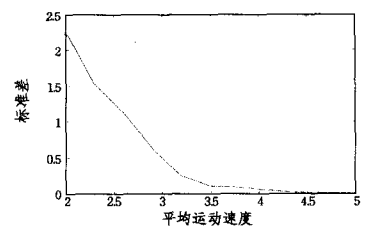


图 4 误差与节点运动速度的关系

4 提高同步速度改进算法

在以上的分析中,每一轮中的每个节点均进行一次均值

运算,各节点参与运算的概率是相同的。但是由分析可知,在进行均值运算时,每个节点对操作的贡献度是不一样的。那些与周围节点时钟差值较大的节点贡献更大。同时,在移动环境中扩散算法会优先在本地实现时钟同步,那些运动速度较快的节点有更大机会离开本地区域到达较远的区域,因此其与新的邻居节点具有较大的差值的机会更多。为了进一步提高收敛速度、降低通信成本,一种可行的方法是使不同的节点具有不同的概率参与到均值运算中来。

4.1 改进算法 1

为了提高收敛速度,可以让不同的节点以不同的概率来进行均值运算。第一种方法是使节点参与运算的概率与此节点在上次均值计算中时钟变化的绝对值成正比。即 $p_i \propto |H_{i-1} - H_{i-2}|$ 。这些节点具有比邻居节点更大的时钟差值。通过增加其参与运算的概率可以提高收敛速度,这可以从图 5 中看出。图 5 表示了改进前后的同步效果,横坐标是总操作次数。

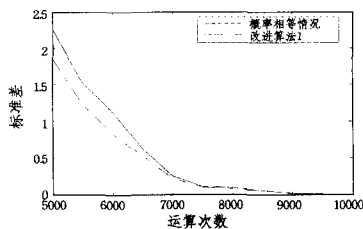


图 5 改进算法 1 的效果

4.2 改进算法 2

在节点移动的环境下,由于距离较近的节点比较容易实现局部同步,而较远的节点有更大可能具有较大的时钟差值,因此可以使节点进行均值运算的概率与节点速度成正比。仿真结果如图 6 所示,改进算法可以提高时钟收敛速度。

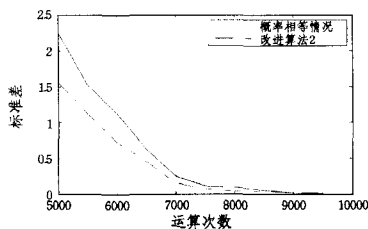


图 6 改进算法 2 的效果

4.3 改进算法分析

在移动无线传感器网络中,通过调整节点参与均值运算的概率,可以在网络总计算量不变的前提下,提高网络的同步速度。两种方法的本质都是使与网络时钟均值有较大偏差的节点更多地参加计算,同时节点对自身上次时钟变化值和自身移动速度的测定都是本地完成的,不需要节点间的通信,因此其附加能量消耗很低。改进方法在性能和效率间取得了较好的平衡。

结束语 时钟同步是分布式系统中非常重要的问题,在无线传感器网络中要同时考虑同步精度和能量效率两方面。在节点移动的情况下,这一问题更加复杂。本节对移动无线传感器网络中的时钟同步问题进行了介绍。着重介绍了一种基于扩散的同步算法,分析了其在移动环境下的性能,说明了移动性可以提高此种算法的同步速度,并进一步提出了两种加快时钟同步速度的方法。

参考文献

- [1] kyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40 (8): 102-105
- [2] 王波,叶晓慧,赵玉亭,等. 自组织网络时钟同步研究综述[J]. 计算机科学, 2010, 37(5): 30-33
- [3] Hoffmann W, Lichtenegger B, Collins H, et al. GPS theory and practice [J]. Geophysicaet Montanistica Hungarica, 1995, 30 (1): 107
- [4] Jeremy E, Lewis G, Deborah E. Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts [C]//5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. Boston, Massachusetts, USA; 2002: 147-163
- [5] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-sync protocol for sensor networks [C]//1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles, CA, USA, 2003: 138-149
- [6] Sivrikaya F, Yener B. Time synchronization in sensor networks: A survey [J]. IEEE Network, 2004, 18(4): 45-50
- [7] Li Q, Rus D. Global clock synchronization in sensor networks [J]. IEEE Transactions on Computers, 2006, 55(2): 214-226

(上接第 119 页)

- [2] 夏云,孙力娟,叶晓国,等. SCTP 协议分析与仿真研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 27-30
- [3] 孙楠,张载龙,孙雁飞. SCTP 性能的仿真分析[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(12): 103-106
- [4] 朱桂勇,吴庆波. 基于 SCTP 多宿特点的多路径同时传输研究 [J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(3): 5-9
- [5] 鄯欢,高德云,宋飞. 基于 SCTP 多路径并行传输的性能评估 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 29-32
- [6] Iyengar J, Amer P, Stewart R. Concurrent multipath transfer using SCTP multihoming over independent end-to-end paths[J].

IEEE/ACM, 2006, 14(5): 951-964

- [7] Iyengar J, Amer P, Stewart R. Retransmission policies for concurrent multipath transfer using SCTP multihoming[J]. IEEE ICON, 2004, 2(16): 713-719
- [8] Cui Lin, Koh S J, Lee W J. Fast Selective ACK Scheme for Throughput Enhancement of Multi-Homed SCTP Hosts [J]. IEEE, 2001, 14(6): 587-589
- [9] [EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] Iyengar J, Amer P, Stewart R. Receive Buffer Blocking In Concurrent Multipath Transfer [J]. IEEE, 2005, 1(28): 121-126