

基于局部路由的中高速传感器网络同步算法研究

王越超¹ 程良伦²

(广东工业大学自动化学院 广州 510006)¹ (广东工业大学计算机学院 广州 510006)²

摘 要 传统传感器网络的时间同步方案不适合中高速传感器网络对数据融合和大数据量传输的需要。在固定网络拓扑的结构下,存在邻居节点同步误差较大的问题。同时,全网同步并不适合中高速传感器网络中数据处理周期较长的情况。提出了一种事件触发式、局部同步的中高速传感器网络同步机制及其对应的同步路由算法,解决了邻居节点问题。仿真结果证明,该算法降低了网络中事件区域的同步开销,减小了兴趣节点间的同步误差。

关键词 传感器网络,中高速传感器网络,同步算法,局部路由

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Time Synchronization Algorithm in Medium and High Rate WSN Based on Local Routing

WANG Yue-chao¹ CHENG Liang-lun²

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)¹

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)²

Abstract The traditional time synchronization in WSN does not fit the special needs of Medium and High Rate WSN (MHWSN), in which data fusion and data transmission are in large scale. In the case of fixed topology, there is the problem that the synchronization errors between neighbor nodes are relatively large. At the same time, the data processing of MHWSN takes more time than the WSN, so the global synchronization mechanism is not suitable. An event-triggered synchronization mechanism was presented in this paper. A local routing algorithm for synchronization was designed to solve the neighbors' synchronization problem. The simulation results show that the proposed synchronization mechanism reduces the cost of synchronizing in the event area, and the synchronization error between interest nodes is lowered.

Keywords Wireless sensor network, Medium and high rate wireless sensor network, Time synchronization, Local routing

1 前言

传感器网络具有节点成本低廉、资源受限、网络规模大、动态性强的特点。针对传感器网络自身的特点,目前学术界已经开展了大量的研究工作,提出的传感器网络时间同步算法可以分为以下 3 类。

(1) 基于发送者-接收者交互的同步:待同步节点向基准节点发送同步请求包,基准节点回馈包含当前时间的同步包,待同步节点估算时延并校准时钟。代表性算法有 TPSN^[1] 算法。它通过 MAC 层时间戳技术及双向报文交换方法来抑制和减小传输延迟及延迟不确定性的影响,并且通过构造分层网络实现多跳同步。该算法的同步精度不会随着节点数目的增加而降低,因此具有良好的扩展性。但是进行一次全局同步会消耗较大的能量。

(2) 基于发送者的同步:发送节点发送一个包含本地发送时间戳的同步数据包,接收节点用本地时钟记录接收时间并取出同步消息中的时间戳,然后调整自身时钟,使其与同步节

点时钟同步。代表性算法有基于洪泛的 FTSP^[2] 算法。该算法实现简单、具有较低的计算复杂度和较小的系统能量开销。但是同步精度略有下降。

(3) 基于接收者-接收者交互的同步:接收者-接收者同步协议的目的是为了同步收发双方,而是去同步多个接收者。相对于发送者-接收者同步协议,其关键路径缩短为从发送方物理层到接收方应用程序层。通过对同一个报文接收时刻的比较,接收者可以估算出它们之间的时间偏移。广播域内各节点利用本地时钟记录信令的到达时刻,然后各接收节点之间交互时间记录,进而两两校准时钟。代表性算法有 RBS^[3],除了直接估算接收者间的时间偏移外,它通过对接收者时钟飘移(clock skew)进行动态估计来进一步降低同步误差。这种算法通过采用接收者之间同步的方法避免了发送方对同步精度的影响,从而提高了同步精度。但是它具有较高的网络流量开销和计算复杂度,并且能耗较大。

国内学者在传感器网络的时间同步技术上也提出了一系列的算法,如基于锁相环的节点对时间同步机制^[4]、LTS

到稿日期:2011-08-30 返修日期:2011-11-02 本文受广东省重大科技专项(2009A080207008),广州市市属高校科研项目(10B016)资助。

王越超(1978-),男,博士生,讲师,主要研究方向为传感器网络、人工智能,E-mail:wyc@gcp.edu.cn;程良伦(1965-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为 RFID 与传感器网络、智能与网络化系统。

(lightweight tree based synchronization)协议^[5]、HRTS(hierarchy referencing time synchronization)协议^[6]和 GCS(global clock synchronization)协议^[7]等。

在上述传感器网络时间同步算法中,同步操作首先是在局部范围上实施的,然后逐步扩展到全网的范围^[8]。在大部分同步算法假设中,通常采用全网时间同步算法,基于以下的假定:汇聚节点是全网的时间基准节点,具有最高的时间精度,其余所有节点最终都要达到与汇聚节点的同步;全网的节点是同构的,即节点硬件设施是相同的;在时间同步操作的一个轮次内,晶振的漂移是有限的。

但上述假设对于中高速传感器网络来说,不合理的地方在于:1)网络中的节点是异构的,既有多媒体传感器节点,也有普遍的标量传感器节点,因此晶振的漂移是不同的;2)在中高速传感器网络的典型应用中,如视频监控,基于节能的考虑,通常采用事件驱动的机制,这往往需要在事件发生的热点区域进行较为精确的同步,因此时间基准节点可以选取事件区域的某个节点。

中高速传感器网络(Medium and High Rate WSN, MH-WSN)能够同时处理标量数据和多媒体数据。多个多媒体传感器节点协作的目的是融合单个传感器读数,产生一个高级别感知结果。例如根据多个节点测量目标位置的时间信息,估算后得到其速度值。中高速传感器网络由于数据量大于传统传感器网络,数据融合是必然的。在已知的 MAC 协议中, TMAC 协议^[9]被证明应用中高速传感器网络中是行之有效的,但 TMAC 协议必须依赖于严格的时间同步。因此,时间同步是中高速传感器网络的一个关键技术。

不同的无线传感器网络应用对时间同步的要求是不一样的。实际应用可能只须对少数的兴趣节点同步即可。而传统时间同步都是全网时间同步,所产生的通信流量中大部分是不必要的。同时,为了保持同步精度,传统方法通常会采用周期性同步来修正时钟偏差。在中高速传感器网络中,由于数据量较大,事件发生后,需要较长时间传输。全局周期性同步势必造成节点能量的浪费,对能量敏感的传感器网络来说这是应当避免的。

在中高速传感器网络中,由于需要对多媒体数据进行数据融合,某个事件发生后,为了数据融合的需要,事件区域的多个兴趣节点需要进行同步。在传统传感器网络中,由于数据量较小,1个同步周期内就可能完成数据的传输工作。但中高速传感器网络数据量较大,在数据传输过程中需要多个同步周期。所以在中高速传感器网络中最好采用事件触发、部分节点同步^[10]的同步算法,以避免传统时间同步算法周期性全网同步中不必要的能耗。

本文第2节详细讨论在一个无线传感器网络中时间同步的应用和要求;第3节讨论现在 WSN 中的时间同步算法,指出它们应用于新背景中的不足。

2 相邻节点同步问题

在 WSN 中,类似 NTP 的算法必须建立一个层次结构,选取一个单一的节点作为系统的主时钟。假设我们有一个算法可以自动保持这样一个层次结构,即使存在节点的动态变

化。还有一个根本的问题:只有一个典型的时间来源,那么远离主时钟的节点将会有较差的时间同步。

在 WSN 中,最接近的一对节点往往需要最精确的同步。考虑图 1 中的情况:节点 A、B 和 C 彼此最近,但远离主时钟。当采用 NTP 的同步算法,B 将选择 A 或 C 作为其同步来源。但不管选择哪个节点,都将导致与另外一个节点分享数据时,会有较差的同步。例如,如果 B 同步至 C,那么与 A 的同步误差将相当大。因为同步路径是由 B 到主时钟,再返回到 A。图 1 表明,WSNs 不应该总是维持一个全局时间。相反,我们提出 WSN 中的每个节点应维持一个“本地”时钟,该时钟应根据本地节点的相对频率和相位信息保持在事件发生区域的局部同步。

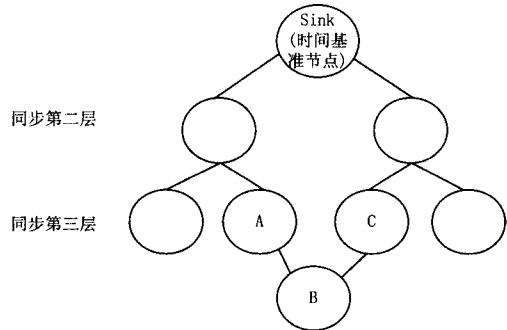


图 1 分层次结构 WSN 中的同步

在通常情况下,传感器网络中的各个节点是不同步的,它们以自己的时钟频率运转。当某个事件发生时,监测到该事件的传感器节点会根据自己的本地时钟记录下事件发生的时间 T_e ,如图 1 中的 A、B、C 3 个节点检测到事件发生。由于中高速传感器网络中存在多种传感器类型,它们用于监测同一事件,意味着基站或 Sink 节点要融合多个节点的传感数据。此时需要采用同步事件区域的节点来确定事件发生的绝对时间。

3 基于动态路由的触发式局部同步算法

本文所设计的同步算法思路如下:1)在非同步网络中,事件触发后,首先通过全局同步消除兴趣节点间的时钟偏差;2)在兴趣节点间动态选取时间基准节点;3)在兴趣节点间以时间基准节点为中心重新建立路由;4)在兴趣节点间进行同步;5)在下一个同步周期,利用局部时间基准节点消除时钟偏差、重新同步。

3.1 消除时钟偏差

当基站监测事件发生后,会给参考节点发送一个同步脉冲,消除事件区域各节点的时钟偏差(包括由于相位偏差、频率偏差和传输延迟而引起的误差)。这里采用文献^[11]提出的频率校正算法。

3.2 建立同步路由

完成频率偏差校正后,不需要全局同步,只需要在事件区域的兴趣节点之间实现同步。此时基站将兴趣节点列表广播至各兴趣节点。

各兴趣节点收到事件区域节点消息后,建立事件区域的同步路由。

图 2(a)所示拓扑结构如图 2(b)所示,ABCD 构成事件区

域的同步路由。

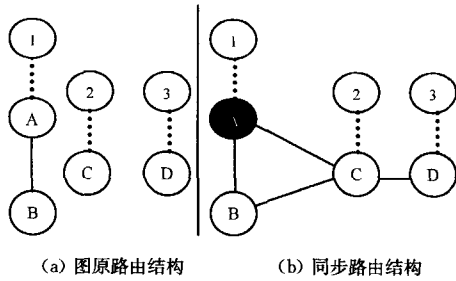


图 2

在同步路由中选取某一节点作为时间基准节点,为不失一般性,这里选取 A 作为时间基准节点。A 到兴趣节点 D 的跳数为 2。

建立局部同步路由的算法如下:

① 侦测到事件发生后,基站对事件区域节点发送事件区域节点列表。

② 兴趣节点收到事件区域节点列表后,路由算法如下:

if 目标节点匹配邻居节点表

加入同步路由表

else

查询邻居路由表

if 目标节点需要返回 Sink 节点

不建立目标节点路由

else

加入同步路由表

③ 节点向已建立路由的兴趣节点转发同步路由表。

④ 收到同步路由表后,与自己的同步路由表比较更新。

如图 2 所示,在建立同步路由的过程中,A 建立同步路由表 $\{A(A), B(B), C(A), D(C)\}$; B 建立同步路由表 $\{A(B), B(B), C(B), D(C)\}$; C 建立同步路由表 $\{A(C), B(C), C(C), D(C)\}$; D 建立同步路由表 $\{A(C), B(C), C(D), D(D)\}$ 。

3.3 同步过程

本文采用与同步锁相环协议(PLL)^[4]类似的方法进行节点同步,同步范围局限在上面所建立的同步路由表中。

节点对之间的同步:时间基准节点检测到信道空闲后,在同步报文中嵌入发送时间戳 t_1 ;报文信息发送前,先发送一定数量的前导码 Preamble 和同步字 sync word,以便接收节点进行接收同步。根据发送的信息位数 n 和发送每比特位需要的时间 Δt ,可以估计出前导码和起始字符的发送时间为 $n\Delta t$ 。接收节点在同步字接收完成时,记录此时的本地时间 t_2 ,并在即将调整本地时间之前记录时刻 t_3 ,由此可以得出自身的报文处理延迟时间为 $t_3 - t_2$ 。最后接收节点将自己的当前时间修正为 $t = t_1 + n\Delta t + t_3 - t_2$,从而与发送节点实现同步。

将节点对之间的同步扩展到局部网络的其他节点,使得事件区域的节点保持同步。

在同步周期到来时,利用时间基准节点在事件区域中消除时钟偏差。

当需要全网同步时,基站只需要与时间基准节点进行同步即可。因此,本算法不会影响全网同步算法的性能。

当同步操作完成后,可以考虑利用同步路由进行数据融

合的操作。本文方案是将同步路由与网络层的数据传输路由分开处理,优点是:1)不影响考虑了全网最优能耗与数据传输性能的全局最优路由;2)避免了对网络分层协议产生破坏;3)通过同步路由达到了局部最优解。缺点是:1)增加了同步机制的复杂性;2)需要在各节点额外维护一个路由表,增加了网络的开销。

3.4 仿真与实验分析

我们使用 Simsync 时间同步模拟器作为实验平台。针对以 Mica2 为基本组成节点的无线传感器网络,通过对传输延迟各组成部分及晶体振荡器频率的建模,SimSync 可模拟网络时间的推演。SimSync 模拟器采用 C++ 语言实现,通过对其提供的 alg 类的继承可以实现对模拟细节的屏蔽,而用户只需要关注同步协议即可。此外,用户可以通过修改时间参数来实现某些底层操作,例如 MAC 层时戳技术。

我们在 Simsync 模拟器上实现了 TPSN 协议和本文协议。模拟场景为 81 个节点放置在 9×9 的网格中,节点的编号范围为 0-80,节点 i 放置在 $(i/9, i\%9)$ 的网格点处,网格点编号同于第一象限点坐标的编号。每个节点可与其周围的 8 个邻居节点直接通信,同步周期为 10s。节点 0 为时间基准节点。图 3 为建立的广度优先生成树的拓扑图,这里没有考虑拓扑的动态变化。图中实线代表 BTS 的拓扑建立算法所建立的节点间的父子关系。例如 11 号节点,其父节点为 1 号节点。

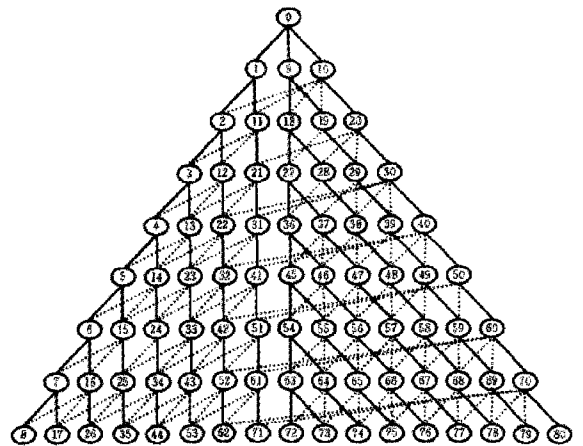


图 3 网络拓扑结构

图 4 为 TPSN 协议和本文所设计协议的同步误差图,横坐标为节点号,纵坐标为节点的同步误差值。

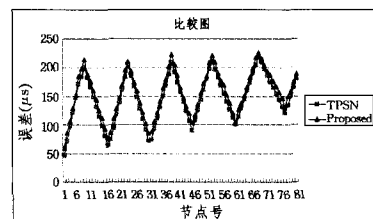


图 4 全网同步误差比较

图中可以看出,本文协议对于全局的同步误差并没有明显的改进,在距离 Sink 节点跳数较多的节点误差甚至较大。原因是本文协议在兴趣节点中增加了同步路由的开销,引入

(下转第 91 页)

的提高,因此 NS-PMRC 算法具有良好的性能,是可行且有效的。但是使用 GPS 系统提取节点的地理位置信息,增加的无线节点能量消耗问题,是今后工作中需要考虑的问题。

参考文献

[1] 郑少仁,王海涛. Ad hoc 网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005:8-9

[2] 陈林星,曾曦,曹毅. 移动 Ad hoc 网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2006:2-11

[3] Asu P, Redi J. Movement control algorithms for realization of fault-tolerant Ad hoc robot networks[J]. IEEE Network, 2004, 18(1):36-44

[4] Ratislav M, Nikola M, Miroslaw M. Prediction of partitioning in location-aware mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences. 2005:306-312

[5] Noureddine H, Ni Qiang, Min Geyong, et al. A New Link Lifetime Prediction Method for Greedy and Contention-based Routing in Mobile Ad hoc Networks[C]//Computer and Information Technology (CIT). 2010:2662-2667

(上接第 54 页)

了建立与维护同步路由的延时。

选取节点 7、17、26、35、44 作为事件区域,以节点 7 作为时间基准点,与 TPSN 协议进行比较,比较结果如图 5 所示。

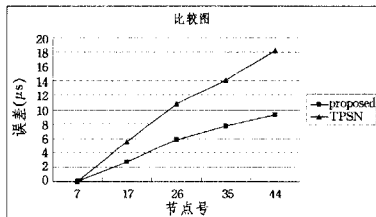


图 5 事件区域同步误差比较

由图 5 可知,本文设计的协议在事件区域将节点间的同步误差减少了 50%左右。

根据仿真可以看出,虽然本文提出的协议对于全网时间同步没有明显改善,但对于事件区域的同步精度有明显的提升,将为进一步进行事件区域的融合等操作提供同步时间的保证。

结束语 本文采用触发式局部同步算法,解决了邻居节点同步的问题。但在同步阶段增加了同步路由表的维护,对于监测静止对象兴趣节点较少时,对降低网络能耗是明显的;但不适合监测移动对象兴趣节点较多的网络。

同步路由可以限制同步算法的规模,但还有很多问题需要进一步讨论:1)如何将同步路由与网络路由相结合;2)能否利用同步路由进行局部数据融合操作、局部融合的可行性;3)跨层调度机制如何实现。

参考文献

[1] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-sync Protocol for Sensor Networks[C]//Proceedings of the 1st ACM Confe-

[6] Kim T-H, Tipper D, Krisnamurthy P, et al. Improving the topological resilience of mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 7th International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks. 2009:191-198

[7] 李建东,田野,盛敏,等. 大规模 Ad hoc 网络拓扑分割探测研究[J]. 通信学报,2008(9):54-61

[8] Lin Kuo-huang, Liu Bin-da. A gray system modeling approach to the prediction of calibration intervals[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2005, 54(1):297-304

[9] Hong Liang, Wu Chen, Zhang Guo-qing. Link reliability assessment based on grey relational analysis for wireless ad Hoc networks[C]//Control Conference (CCC). 2010:4236-4240

[10] Vijayakumar H, Ravichandran M. Efficient location management of mobile node in wireless mobile ad-Hoc network[C]//Innovations in Emerging Technology (NCOIET). 2011:77-84

[11] 林彦汝,周继鹏. 基于地理位置的 Ad hoc 路由协议[J]. 计算机应用,2011(1):225-228

[12] Sheng M, Li J D, Shi Y. Critical nodes detection in mobile Ad hoc network[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. 2006:1-5

rence on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles, California, 2003:87-89

[2] Maroti M, Kusy B, Simon G, et al. The Flooding Time Synchronization Protocol[R]. Nashville Tennessee: Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University, 2004

[3] Elson J, Girod L, Estrin D. Fine-grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcasts[C]// Proceedings of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. Boston, MA, 2002:147-163

[4] 任丰原,董思颖,何滔,等. 基于锁环环的时间同步机制与算法[J]. 软件学报,2007,18(2):372-380

[5] Greunen V, Rabaey J. Lightweight time synchronization for sensor networks[C]// The 2nd ACM Intl Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. San Diego, 2003

[6] Dai H, Han R. TSync: A lightweight bidirectional time synchronization service for wireless sensor networks[J]. ACM Mobile Computing and Communications Review, 2004, 8(1):125-139

[7] Li Q, Rus D. Global clock synchronization in sensor networks[J]. IEEE Trans. on Computers, 2006, 55(2):214-226

[8] 皇甫伟,周新运,陈灿峰. 基于多层抽样反馈的传感器网络时间同步算法[J]. 通信学报,2009,30(3):59-65

[9] Tao Li-qiang, Yu Feng-qi. A Distributed Slot Assignment Algorithm with Minimum Jitter and Delay Guarantee for Real-time Applications in Wireless Sensor Networks[C]// 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC). 2010

[10] 陈乔,张毅坤,杨凯峰,等. 无线传感器网络中同步补偿机制的研究与应用[J]. 计算机应用,2010,30(4):892-894,901

[11] 魏诺,郭强,李春杰,等. 基于频率校正的触发型传感器网络同步算法[J]. 计算机工程,2008,34(7):57-59