

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.10.015

## 能量高效无线传感器网络时间同步算法

车活龙, 陈志刚

(广西北海军分区 75494 部队司令部, 广西 北海 536004)

**摘要:** 针对无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 能量受限的问题, 提出一种基于双向报文交换同参考广播报文相结合的能量高效无线传感器网络时间同步算法。采用交替回复信息时间同步算法 (Repeating Message Alternatively Time Synchronization, RMATS), 同步阶段网络内节点可根据规则进行选择性的回复时间同步信息。仿真实验结果表明, 该算法能有效减少时间同步过程中信息包的发送量, 节省能量的同时保证一定的时间同步精度, 均衡单个节点的能量消耗, 适用于对特定区域或重要目标进行长期监视的无线传感器网络系统。

**关键词:** 无线传感器网络; 能量高效; 时间同步; 交替回复

**中图分类号:** TP301.6; TP393.02 **文献标识码:** A

## Energy-Efficient Time Synchronization Algorithm for Wireless Sensor Network

Che Huolong, Chen Zhigang

(Headquarter of No.75494 Unit of PLA, Beihai Military Region of Guangxi Province, Beihai 536004, China)

**Abstract:** Focusing on the limited power characteristic of wireless sensor network, a kind of energy-efficient time synchronization algorithm for wireless sensor network which combines unidirectional reference broadcast and pair-wise mechanism is proposed. In the synchronization phase, nodes in the network repeat synchronization message alternatively. Simulation test shows this algorithm decreases the number of sending packages in the synchronization phase, provides a certain synchronization precision with the precondition of energy-saving, the node's energy in consumed averagely, it is suitable for wireless sensor network system used for all-time surveillance for certain areas or important objects.

**Keywords:** wireless sensor network; energy-efficient; time synchronization; repeat alternatively

### 0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成一个多跳的自组织网络系统, 其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息, 并发送给观察者<sup>[1]</sup>。与传统网络相比, 无线传感器网络的硬件能力有限、能量受限、以数据为中心、自组织和多跳路由等, 其中能量受限是无线传感器网络应用的一个瓶颈问题, 而时间同步在节点定位、低功耗睡眠和数据融合等影响网络能量消耗的关键技术方面起着决定性作用。因此, 时间同步算法设计必须考虑到 2 方面的因素: 1) 减少时间同步自身带来的能量消耗; 2) 提供较高时间同步精度以有效减少其它关键技术带来的能量消耗。

目前已有多种针对无线传感器网络的时间同步算法, 主要包括: RBS 算法<sup>[2]</sup>、TPSN 算法<sup>[3]</sup>、FTSP 算法<sup>[4]</sup>、CHTS 算法<sup>[5]</sup>和 HRTS 算法<sup>[6]</sup>。这些算法有的侧重于提高时间同步的精度; 有的则侧重于减少同步报文个数降低能耗。故提出的交替回复信息时间同步算法 (Repeating Message Alternatively Time

Synchronization, RMATS), 在能量消耗和同步精度 2 方面进行折衷, 在确保较高同步精度的前提下, 有效地减少时间同步带来的能量消耗。

### 1 RMATS 算法

为了有效地解决能耗和精度在无线传感器网络时间同步算法中平衡的问题, RMATS 算法利用一个寄存器变量 Repeat, 采用在不同轮次的时间同步过程中, 通过一定规则使得网络内节点有选择性的回复上层节点的时间同步信息, 通过交替的回复机制, 有效地减少了同步过程中数据包的发送量, 减小能量消耗。算法的实现要求网络能达到以下前提条件: 1) 基站或者是根节点必须有标准时间作为参考 (如连接有外部的 GPS 接收器); 2) 网络内所有节点有唯一的 ID 号, 奇偶分布均匀; 3) 网络中的失效节点不影响整个网络的联通; 4) 在 MAC 层上可以打上时间戳。

RMATS 算法分为 2 个阶段: 分层阶段 (Level Discovery Phase) 和同步阶段 (Synchronization Phase)。

1) RMATS 算法分层阶段的步骤如下:

(1) 根节点的层次值指定为零, 同时根节点根

收稿日期: 2010-04-12; 修回日期: 2010-05-21

作者简介: 车活龙 (1966-), 男, 江西人, 从事部队管理和军事仿真研究。

据自身 ID 号的奇偶属性, 设置一个寄存器变量 (Bool Repeat) 的值, 如 ID 号为奇数, 则令 Repeat=0, 反之则令 Repeat=1, 网络拓扑建立阶段, 根节点广播初始化包, 包中信息包括根节点的 ID 号和层次号数值  $i$ ; (2) 根节点的一跳节点收到初始化包后, 在内存中记录根节点的 ID 号, 将其设为自己的父节点, 取出初始化包中的层次数值加一, 作为本身的层次数值 ( $i+1$ ), 广播初始化包, 包中的 ID 和层次数值设置成为自己的 ID 和层次数值, 将信息包广播到自己的一跳网络 (即根节点的二跳网络), 同时根据第一步中描述的规则设置寄存器变量的值; (3) 网络中的每个节点重复第 2 个步骤直至扩展到整个网络, 此时每个节点就都得到了自己父亲节点的 ID 号和本身所属的层次信息, 在分层阶段各节点广播分层初始化包时, 如果节点收到不同的信息包时或者网络中有新的节点入网时, 将采用最小层次号选择法进行选择, 即选择包中层次号最小的发送节点作为自己的父节点, 并将其层次数值加一作为自己的层次数值, 执行过程如图 1, 图中的新入网节点将根据最小层次号选择法决定自己的层次为 2, 图中括号内参数值分别代表节点 ID 号、节点层次值和该节点寄存器变量 Repeat 的值; (4) 如果网络中某个节点在一定时间内没收到分层信息包, 那么它就会向邻居节点发送一个“层次要求”包, 当邻居节点收到“层次请求包”后, 将向其发送信息包, 请求节点将根据最小层次号选择法决定自己的父节点和层次。

●根节点 ▲一跳节点 ■二跳节点 ★新入网节点

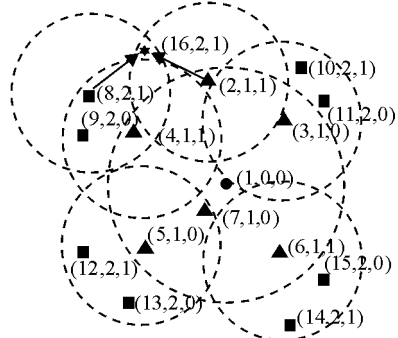


图 1 最小层次号选择法执行过程

2) RMATS 算法同步阶段的步骤包括:

(1) 在完成分层阶段以后, 根节点将开始网络内的时间同步阶段, 通过广播的形式发送同步包, 包中含有 3 个参数, 分别为根节点的 ID 号、同步轮次参数 (第一轮参数的值为 1) 和根节点在广播消息的前一时刻在同步包上打上的时间戳  $T_1$ , 然后

一跳节点将根据规则选择是否回复同步消息, 如果  $((n+2-REPEAT)/2==0)$  的值为真, 则回复同步信息, 反之则不回复, 回复的信息中包含收到同步信息包的时间  $T_n$  和回复同步包的时间  $T'_n$ , 上级节点记录下各节点收到信息包的时间  $T_{1n}$ 。

(2) 根节点将根据式 (1) 分别计算出各节点与根据节点的时间偏移  $\delta$  和消息传送延迟  $d$ , 将各回复节点时间同步到根节点, 如图 2 (以 2 号节点为例)。上级节点在收到所有节点回复的应答消息后, 计算出各节点收到根节点发出同步包的时间平均值  $\bar{T}_\Delta$  和消息传送延迟的平均值  $\bar{d}$ , 然后发送一个广播包, 包中含有发送广播包的时间  $T'_1$ 、 $\bar{T}_\Delta$  和  $\bar{d}$ , 此时未回复同步信息的节点将根据  $T'_1$ 、 $\bar{T}_\Delta$  和  $\bar{d}$  调整本地时钟, 设置本地时钟为  $T = T'_1 + (T_n - \bar{T}_\Delta) + \bar{d}$ , 同步到根节点, 执行过程如图 3, 此过程中已回复同步信息的节点将根据  $((n+2-REPEAT)/2==0)$  的值决定是否接收此广播信息, 如为真则不接收, 反之则接收。

$$\delta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_{12} - T'_2)}{2} \tag{1}$$

$$d = \frac{(T_2 - T_1) + (T_{12} - T'_2)}{2}$$

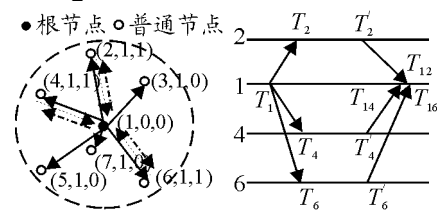


图 2 交替回复同步执行过程

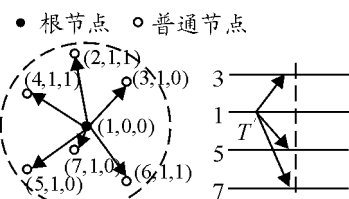


图 3 参考广播同步执行过程

(3) 一跳节点同步以后, 它们也形成了自己的同步包, 包中含有它们的 ID 号, 同步的轮次 (此时它们轮次参数值也为 1) 和它们在发送前一刻打上的时间戳标志, 同样二跳节点也只接受来自父节点的同步信息, 按照上述同样的方法同步使二跳节点同步到一跳节点。

(4) 网络中的所有节点重复上述步骤, 完成整个网络内所有节点的同步。

(5) 如果网络中的某个节点在两个轮次内均未收到父节点的同步信息，它会认为自己的父节点处于失效状态，则它将向邻居节点发送“同步请求”包，从“应答包”中得到邻居节点的同步轮次信息，比较轮次参数的大小，如果自己的轮次参数小于应答包中的轮次参数，与它的邻居节点完成同步。

## 2 仿真实验及性能分析

为了检验 RMATS 算法的性能，通过网络仿真工具 NS-2 对算法进行了仿真实验，主要通过该算法与典型层次时间同步算法 TPSN 进行比较来验证算法性能。在 100 m<sup>2</sup> 的方形区域内布置了 150 个节点，节点通信距离设置为 15 m，根节点布置在正中央，其余节点随机分布。主要从能量消耗和同步精度 2 方面进行了实验，并同 TPSN 算法进行了比较，并从 RMATS 算法的收敛性和失效节点数目对算法性能进行了分析，实验结果如图 4、图 5 和图 6。

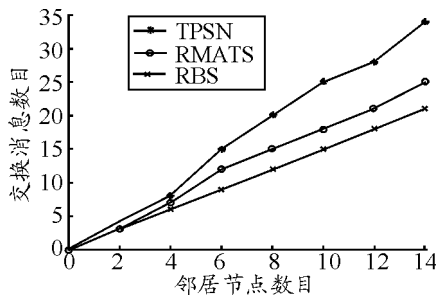


图 4 RMATS 算法同 TPSN 算法和 RBS 算法能量消耗对比

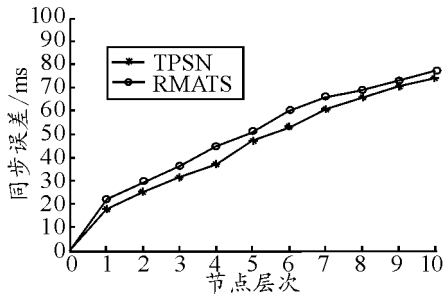


图 5 RMATS 算法同 TPSN 算法同步精度对比

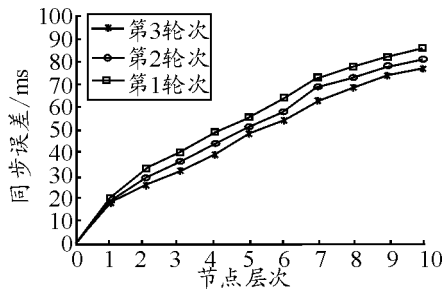


图 6 RMATS 算法收敛性

从图 4 中可以看出：在同等条件下，RMATS 算法发送数据包的数量处于 TPSN 和 RBS 算法之间，网络密度越大，RMATS 算法较 TPSN 少发送数

据包的数量越大，大大减少了各节点能量开销，虽然 RMATS 增加了同步过程中的计算量，但由于无线传感器网络中能耗最大的是无线通信，小幅增加计算量不会影响网络的能量效率，因此，RMATS 能有效地减小能量消耗。

从图 5 中可以看出：RMATS 算法的同步精度比 TPSN 算法要差，因为 RMATS 算法采取了能量和精度折衷的策略，TPSN 算法中每个节点都同上级节点进行双向信息交换，而 RMATS 算法中每轮同步只有部分节点同上级节点进行双向信息交换，同步精度略低。

从图 6 中可以看出：RMATS 算法的快速收敛性。该算法中采用交替回复机制，每个节点交替性同上级节点之间进行双向信息交换同步，经过 3 个轮次时间同步后，RMATS 算法精度已向 TPSN 算法收敛。同时，可以看出 RMATS 算法的交替回复机制可以有效地均衡各节点之间的能量消耗，减小单个节点因为能量耗尽而失效的概率，延长网络的生命周期，这同最后的实验结果也是一致的。

## 3 结束语

仿真实验表明，该算法能在确保一定时间同步精度的前提下，有效地减少时间同步过程中数据包的发送量，大大节约时间同步带来的能量开销，并在同步过程中均衡单个节点的能量消耗，非常适用于长期工作的无人值守监视系统。

## 参考文献:

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] J.Elson, L. Girod, and D. Estrin, Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts. Proceeding of the 5<sup>th</sup> Symposium on Operating systems Design and implementation(OSDI2002)[J]. Boston, MA: ACM Press, 2002: 147-163.
- [3] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-sync protocol for sensor networks. In: Proc 1<sup>st</sup> Int'l conf on Embedded Networked Sensor Systems(SenSys2003)[R]. Los Angeles, CA. November 5-7, 2003: 138-149.
- [4] Maroti M, Kusy B, Simon G, et al. Flooding time synchronization in wireless sensor networks[J]. ACM SenSys'04. 2004.
- [5] Seena Bandyopadhyay, Coyle E J. An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks[C]//San Francisco: Infocom 2003, the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, IEEE, 2003: 1713-1723.
- [6] H Dai, R Han1 TSync: A lightweight bidirectional time synchronization service for wireless sensor networks[J]. ACM Mobile Computing and Communications Review, 2004, 8(1): 125-139.