

基于能效的动态分簇目标跟踪算法^①

谢 涛

西南大学 信息中心, 重庆 400715

摘要: 由于传感器节点携带的电量受限, 在目标跟踪的过程中, 往往会因为电量耗尽而失效. 为了降低节点的能耗, 延长网络寿命, 提出了一种基于能效的动态簇目标跟踪算法, 能够随着目标的移动, 快速地生成最优的跟踪簇, 并根据感知信号的质量评价模型, 提出了一种新的簇头竞选机制和节点上报数据的筛选机制, 有效地减少了节点的通信总量, 降低了能耗. 仿真结果表明, 该算法与传统的目标跟踪算法相比, 具有更高的能效.

关键词: 无线传感器网络; 动态簇; 目标跟踪; 能耗

中图分类号: TP212.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)11-0174-06

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)^[1]是由大量传感器节点(下文称节点)自组织形成的多跳无线网络, 已被广泛应用于军事、环境监测等领域. 这些节点受体积和成本的限制, 仅装备了微型电池, 电量有限, 一旦节点因电量耗尽而失效, 会给整个网络带来难以估计的影响. 目标跟踪是 WSN 的一个关键应用^[2]. 如何在确保目标跟踪精度的前提下, 尽可能降低能耗, 延长网络寿命, 是设计目标跟踪算法的首要目标. 文献[3-5]提出分簇管理的方法来提升能效, 根据簇的结构可以把算法分为两类: 静态簇和动态簇.

静态簇算法在网络初始化阶段就完成了簇的划分, 在大规模应用中有一定优势, LEACH^[6]和 HEED^[7]是其中的代表. 但是, 算法为了维持簇的稳定, 会产生大量的控制指令, 造成电量浪费; 而且, 由于目标移动的随机性, 会使得跟踪精度不稳定; 特别是当目标移动到簇的交界区域时, 会出现数据重复上报的情况, 这种情况称为边界问题^[8].

为了解决上述问题, 研究者们提出了动态簇算法^[9-11]. 动态簇算法会根据目标的移动状态, 通过竞选产生簇头再适时地创建簇, 如 APPEES 算法^[12], 该算法虽然提高了能效, 但网络中存在大量的广播数据, 而且目标的位置不断发生改变, 算法在竞选簇头、配置簇的过程中耗时过长, 所以很难形成最优簇.

本文提出了一种基于能效的动态簇目标跟踪算法. 算法明确了传感器感知信号质量和目标距离之间的关系, 并以此提出了一种簇头竞选机制, 使得节点间只需少量的数据交互就能竞选出簇头, 减少了通信能耗. 算法不需要通过预测目标的运动方向来提前唤醒节点, 仅根据目标的运动轨迹, 自动地创建簇, 并获得最优的跟踪效果, 还通过对信号质量的评定, 对上报的信号数据进行筛选, 从整体上减少了数据传输量, 显著地降低了网络的总能耗.

1 基于能效的动态分簇目标跟踪算法

假定 WSN 中每一个节点都有唯一的 ID 号且具有相同的物理特性, 它们都已经事先知晓了自己的物

① 收稿日期: 2015-08-31

基金项目: 重庆市科委前沿与基础研究项目(ctsc2014cyjA40053); 中央高校基本科研业务费项目(XDJK2013C143).

作者简介: 谢 涛(1980-), 男, 重庆人, 工程师, 主要从事计算机网络、分布式计算研究.

理坐标,且被随机分布在二维平面区域内,分布密度满足栅栏覆盖^[13].

1.1 感知信号质量与目标距离之间的关系

众所周知,传感器信号是以电磁波的形式传播的,必然会受到环境中各种因素的干扰,我们将这种干扰统称为噪音.当节点与目标之间的距离增大时,噪音对信号的干扰随之增大,信号质量会随着距离的增大而逐渐降低.假设噪音对信号的干扰随距离的增大而逐渐累积,也就是说,如果节点与目标之间的距离增大,感知信号中累积的噪音所占的比例也就增大;反之,噪音比例减小.因此,可以近似采用正态分布函数来表示信号中噪音的概率密度.当目标无限接近节点时,它们之间的距离趋近于 0,此时信号中噪音所占的比例趋近于 0;当目标位于节点感知半径 r 的边沿时,此时信号中噪音所占的比例趋近于 100%,即节点无法感知到目标信号.我们把感知信号中噪音所占的比重作为衡量信号质量的标准,噪音占比大的感知信号质量较差;反之,质量较优.噪音的概率密度函数如式(1)所示:

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

(1)

式(1)中, x 表示节点与目标之间的欧式距离,取 μ 为 0, σ 为 $\frac{1}{3}r$ (r 表示节点的感知半径),结合正态分布函数的 3σ 原则,可以推导出信号的质量等级与目标距离之间的关系(表 1).

表 1 信号质量等级与目标距离关系表

节点与目标之间的距离	噪音概率密度分布	信号质量等级
$0<d\leqslant\frac{1}{3}r$	0%~5%	3
$\frac{1}{3}r<d\leqslant\frac{2}{3}r$	5%~32%	2
$\frac{2}{3}r<d\leqslant r$	32%~100%	1

注: d 表示节点与目标之间的欧式距离, r 表示节点的感知半径.

1.2 算法描述

由于传感器的感知半径 r 较小,当目标出现时,只有位于以目标位置为圆心, r 为半径的圆形区域内的节点才能感知到目标的存在,而网络中其他节点是感知不到目标的,它们应处于一种不工作的状态,以节约电量.因此,我们对 WSN 中节点的工作状态进行一个定义,分别是:休眠模式、感知模式和活动模式.当节点处于休眠模式时,会周期性的苏醒来搜索目标,如没有发现,则继续休眠;而一旦侦测到目标,节点转入感知模式,开始持续的采集目标信号,进行跟踪;当需要上报数据时,节点转入活动模式,开启无线模块,进行数据传输;否则,节点将一直处于感知模式.当目标离开节点的感知范围后,节点转入休眠模式.如何使节点能更合理地在 3 种工作模式之间进行转换,是本文研究的重点.

在算法开始前,我们将所有节点都设置为休眠模式,以节约电量.

- 1) 节点定期苏醒来探测目标,一旦感知到目标信号,转入步骤 2);
- 2) 所有感知到目标的节点都进入竞选流程,竞选出的簇头会广播控制指令,唤醒它通信半径范围内的所有节点,形成簇,这些被唤醒的节点即成为它的簇成员.簇成员被唤醒后,由休眠模式转入感知模式,开始持续跟踪目标;
- 3) 簇成员根据算法要求,定期对感知到的数据进行质量评估,如高于期望值,则转入活动模式,将数据上报;否则将保持感知模式的工作状态,直到簇被撤销;
- 4) 当目标离开簇的感知范围之后,簇头发送簇撤销指令给自己的成员.簇成员收到撤销指令之后,转入休眠模式,簇消亡.

算法不断重复此过程,直到目标离开 WSN 的监控区域,算法结束.

图 1 演示了本文算法的整个跟踪过程. 如图 1 所示, 随着人型目标的移动, 算法会选择距离目标移动轨迹最近的节点成为簇头, 快速地创建簇来实现对目标的跟踪.

1.3 簇头的竞选机制

当目标被检测到时, 簇的创建流程被激活, 每一个检测到目标的节点开始竞选簇头. 算法会评价每个候选者的竞选优先级, 优先级越高的节点可以越早将自己的竞选消息广播出去. 而优先级较低的节点还没来得及广播自己的竞选消息就已经收到了高优先级节点的广播消息, 于是退出竞选.

算法会根据节点的感知信号质量和剩余电量来确定优先级, 因为根据算法规则, 数据质量高于期望值才能上报给基站. 为了减少簇头与成员之间的数据传输总量, 应尽可能选择信号质量好的节点作为簇头. 另外, 簇头消耗的电量是大于簇成员的, 因此, 应尽可能选择剩余电量较大的节点作为簇头. 综上可知, 节点的竞选优先级应由信号质量和剩余电量两项指标共同确定. 节点竞选优先级的计算公式如式(2)所示:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{信号质量}} + P_{\text{剩余电量}} \quad (2)$$

图 2 中, 圆心处为目标, 节点 A, B, C, D 与目标之间的距离如图 2 所示. 由表 1 可知: A, B, C, D 的信号质量 $P_{\text{信号质量}}$ 分别为: 3, 2, 2, 1. 此时, A, B, C, D 的剩余电量分别为: 70%, 40%, 45%, 15%, 我们约定如果节点剩余电量小于 20%, $P_{\text{剩余电量}}$ 为 0; 如果剩余电量大于等于 20%, 但小于 50%, 则 $P_{\text{剩余电量}}$ 为 1; 如果剩余电量大于等于 50%, $P_{\text{剩余电量}}$ 为 2, 则它们的 $P_{\text{剩余电量}}$ 分别为: 2, 1, 1, 0. 由式(2)可以计算出它们的 P_{total} 分别为: 5, 3, 3, 1. 综上可知, P_{total} 的取值范围为 1~5, 因此, 算法设置了 5 个相应的时间戳, 节点所获得的时间戳序号由节点的竞选优先级来决定. 这种竞选机制能够确保高优先级节点竞选成功. 节点 A, B, C, D 的竞选优先级 P_{total} 计算结果以及获得的时间戳排序号如表 2 所示.

表 2 节点竞选优先级及时间戳排序号示例

节点 ID	P_{total}	时间戳排序号	节点 ID	P_{total}	时间戳排序号
A	5	1	C	3	3
B	3	3	D	1	5

1.4 上报数据的筛选

在对目标跟踪的过程中, 节点的电量主要消耗在数据传输的过程中^[14]. 我们可以通过降低通信次数或减少通信数据总量, 来达到降低整体能耗的目的. 因此, 节点在上报自己的感知数据之前, 应对数据质量进行评估. 节点只需上报高质量的数据, 可以有效减少网络中的数据传输总量.

由 1.1 节可知, 数据质量与节点和目标之间的距离密不可分. 因此, 可以根据目标的距离 d 以及目标的移动方向对数据质量权重 W 做一个定义: 当 $0 < d \leq \frac{1}{3}r$ 时, $W=3$; 当 $\frac{1}{3}r < d \leq \frac{2}{3}r$ 时, $W=2$; 当 $\frac{2}{3}r < d \leq r$ 时, $W=1$. 然后, 再根据目标的移动方向对权重 W 进行修正, 在 Δt 时间内, 如果节点与目标之间的欧式距离缩短了, 表示目标在靠近节点, 权重 $W+1$; 如果距离没变, 表示目标静止不动, 权重 $W+0$; 如果

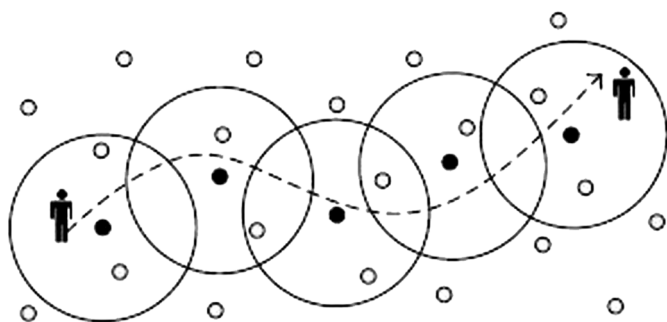


图 1 动态簇目标跟踪算法示意图

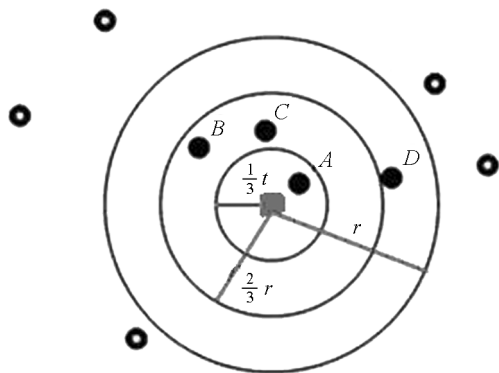


图 2 候选节点与目标距离示意图

距离增大了,表示目标在远离节点,权重 $W=1$. 综上可知,权重 W 的取值范围为 $0\sim4$. 我们可以根据实际需要来定义数据质量权重的取值范围. 通常情况下,取 $W\geq 2$ 是比较合理的.

2 仿真实验

2.1 仿真模型

随着技术的进步,节点在感知和计算过程中消耗的电量远远小于无线通信过程,本文在仿真实验中将主要考虑节点在通信过程中的能耗问题. 我们采用文献[15]提出的计算模型来计算通信能耗:

$$E_{T(k,d)}=E_{\text{elec}}k+\epsilon_{\text{amp}}d^2k \tag{3}$$

$$E_{R(k)}=E_{\text{elec}}k \tag{4}$$

其中: d 代表节点与簇头之间的欧式距离, k 代表节点发送的数据位数, E_{elec} 代表节点每发送或接收 1 位数数据所消耗的电量, ϵ_{amp} 代表无线发射模块的工作能耗.

在 $500\text{ m}\times 500\text{ m}$ 的平面区域内分别随机部署 300 个和 1 000 个传感器节点,这些节点具有相同的物理特性,假设目标物体以 10 m/s 的速度在网络区域内随机移动,仿真参数设置如表 3 所示:

表 3 仿真参数设置

参 数	值	参 数	值
节点初始电量	3J	ϵ_{amp}	$1\times 10^{-11}\text{ J/m}^2$
节点通信半径	50 m	数据包大小	100 bit
节点感知半径	25 m	时间片长度	100 ms
E_{elec}	$5\times 10^{-8}\text{ J}$		

2.2 仿真结果

实验采用 MATLAB 2010 平台对本文所提出的算法进行仿真,从节点平均存活时间、网络数据包传输总量两个方面与 LEACH(静态簇算法)、APPEES(动态簇算法)进行对比,结果如图 7、图 8 所示.

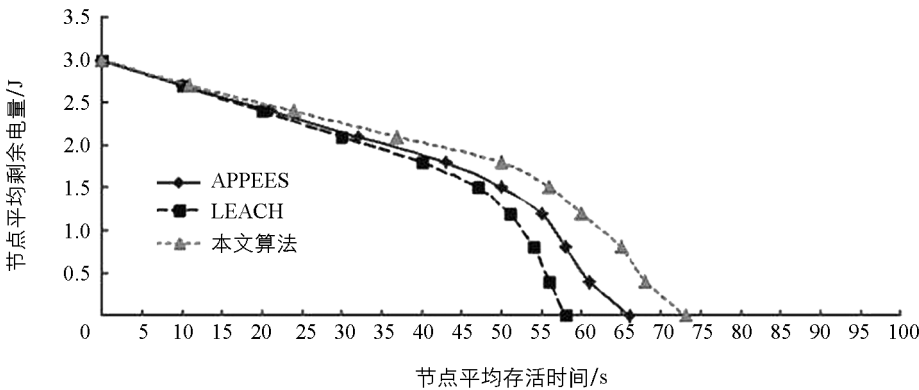


图 7 节点平均存活时间对比图

图 7 中,每一个点为 100 次实验的平均值. 由图 7 可以看出,本文算法节点的平均存活时间要长于其他两个. 这是因为,单位时间内,本文算法总体的控制指令广播数和传输的数据包总量要低于其他两个,所以能耗低,生命周期更长. LEACH 算法为了稳定簇结构,需要不停广播控制指令,而且由于边界问题,节点的能耗最快,所以失效最快.

图 8 中,每一个点为 100 次实验的平均值. 由图 8 可以看出,在初期,LEACH 算法每轮提交给基站的数据包总量都高于其他两个,这是因为静态簇算法的边界问题造成数据包的重复发送,而且由于节点失效过快,最终总的数据包发送量低于其他两个. 而本文提出的算法,由于采用了数据筛选机制,单位时间内,网络整体能耗更低,最终发送的数据包总量也高于其他两个. 对比图 8(a),8(b)可知,当节点越多时,优势越明显.

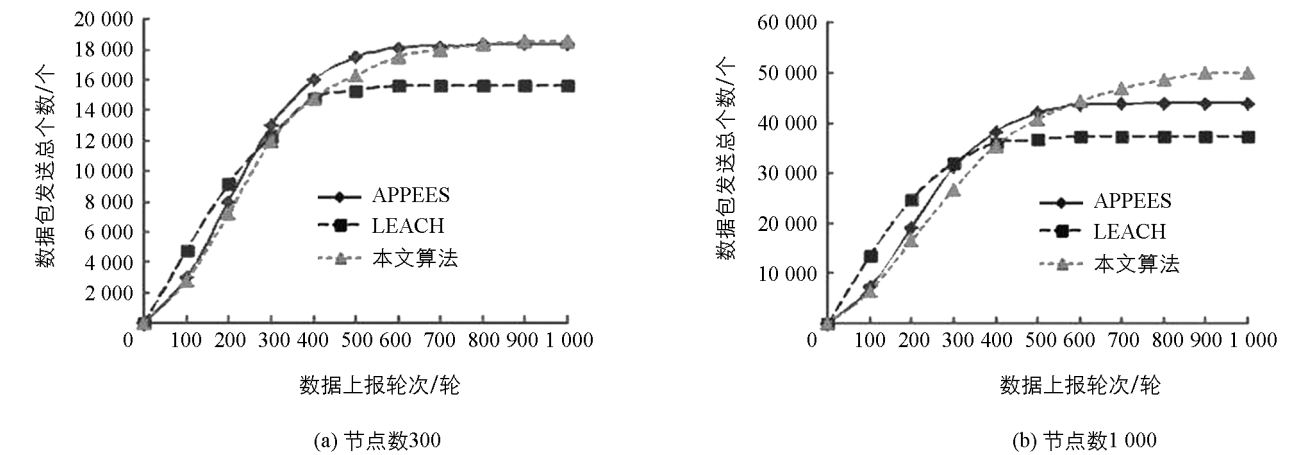


图 8 在不同节点数下，发送给基站的数据包总量对比图

3 结 语

目标跟踪是 WSN 的一个关键应用，由于目标移动的随机性以及传感器节点受限于电量等原因，如何在保障目标跟踪精度的前提下，降低节点的能耗，延长网络寿命，一直备受关注. 本文提出的基于能效的动态簇跟踪算法，有效地减少了网络中的通信数据量，降低了能耗. 实验仿真表明：该算法保留了动态簇算法的优势，不需要对目标的移动轨迹进行预测，并能够快速成簇，进一步减少了网络中的通信损耗，显著地提升了能效.

参考文献：

[1] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless Sensor Network: a Survey [J]. Computer Network, 2002, 38(4): 393—422.

[2] 王营冠,王 智. 无线传感器网络 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

[3] LIU X. A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks [J]. Sensors, 2012, 12(8): 11113—11153.

[4] ABBASI A A, YOUNIS M. A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks [J]. Computer Communications, 2007, 30(14): 2826—2841.

[5] 胡向东,张 力. 一种新的无线传感网局域按需簇维护算法 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2013, 25(1): 64—69.

[6] HEINZELMANW R, CHANDRAKASAN A, BAKAKRISHNAN H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C] //The 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'00). New York: IEEE Computer Society Press, 2000: 223.

[7] YOUNISO, FAHMY S. HEED: A Hybrid, Energy-Efficient Distributed Clustering Approach for Ad-Hoc Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366—379.

[8] 王志波. 基于无线传感器网络的目标检测与跟踪研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

[9] LIN J, XIAO W, LEWIS F L, XIE L. Energy-Efficient Distributed Adaptive Multisensor Scheduling for Target Tracking in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(6): 1886—1896.

[10] 邓亚平,杨 佳,胡亚明. 动态分簇的异构传感器网络安全路由协议 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2011, 23(3): 336—342.

[11] BUYANJARGALO, KWON Y. Adaptive and Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Application in Wireless Sensor Networks (AEEC) [J]. Journal of Networks, 2010, 5(8): 904—911.

[12] QUANGV T, MIYOSHI T. Adaptive Routing Protocol with Energy Efficiency and Event Clustering for Wireless Sensor

- Networks [J]. IEICE Transactions on Communications, 2008, 91(9): 2795—2805.
- [13] KUMAR S, LAT T H, ARORA A. Barrier Coverage with Wireless Sensors [C] //Proc of ACM MobiCom. New York: ACM Press, 2005: 284—298.
- [14] DEMIGHA O, HIDOUCI W K, AHMED T. On Energy Efficiency in Collaborative Target Tracking in Wireless Sensor Network: A Review [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(3): 1210—1222.
- [15] XING X, WANG G, WU J. Herd-Based Target Tracking Protocol in Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Algorithms, Systems, and Applications, 2009, 5682: 135—148.

An Energy-Efficiency Dynamic Clustering Target Tracking Algorithm in WSNs

XIE Tao

Information Center, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Because of the limited energy of sensor node, in the process of target tracking, nodes are often invalid for energy exhausted. In order to reduce the energy consumption and prolong the network lifetime, this paper puts forward an energy-efficiency dynamic clustering target tracking algorithm, which can quickly generate the optimal tracking cluster with the movement of target. And according to quality evaluation model of the sensing data, this paper proposes a novel cluster head election mechanism and a new screening mechanism of node data quality, which can effectively reduce total data communication of nodes and the energy consumption. The simulation results show that the proposed algorithm improves a higher energy efficiency.

Key words: Wireless Sensor Network; dynamic clustering; target tracking; energy consumption

责任编辑 张 枸

