

无线传感器网络中基于 M-tree 的多基站协作模型

张晓晨¹, 张艳², 谭晓松¹

(1. 武汉大学 计算机学院, 湖北 武汉 430079;

2. 东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:无线传感器网络的发展催化出了很多不同类型的能量高效型路由协议,但却几乎都将焦点放在节点分布和节点组织上,但实际的应用中对能量和连通可靠性需求决定了 WSN 架构应通过多种途径来完善。其中关于基站的最优化分布和多基站协作运算尤为重要。针对多基站协作的课题展开研究,提出一种多基站协作模型(MBCM)。该算法量化地给出了 MBCM 中影响网络生存因素的量化指标,并利用 M-tree 来组织网络结构和最小化网络传输代价。仿真结果与理论分析一致验证了该算法为网络提供了更强的生存能力,与单基站的网络相比较,多基站网络可以延长 57% 的网络寿命。

关键词:传感器网络;多基站协作;M-tree

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)07-0013-04

Multi-Basestation Cooperating Model Based on M-tree for Wireless Sensor Networks

ZHANG Xiao-chen¹, ZHANG Yan², TAN Xiao-song¹

(1. School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract:Recent development wireless sensor network(WSN) has lead to the emergence of many application oriented protocol which must be energy efficiency. However, most of them are focus on the nodes' distribution and organization, but the fact is the high-level requirement of energy efficiency and connective reliability in practical application decides that the architecture of WSN should be considered in through a variety of ways. Among them, the methods that linked to the basestation location and multi-basestation cooperation are crucial. In this paper, study on the issue of multi-basestation cooperation and propose a multi-basestation cooperating model based on M-tree(MBCM). The algorithm quantify the influencing factors which impact the network's survival times, what's more, MBCM uses the M-tree structure to organize the network architecture and minimize the network transmission costs. The simulation results and the theoretical analysis shows that the MBCM provides a stronger survivability, compared to the single base station network, the lifetime is extended in about 57%.

Key words:sensor network;multi-basestation cooperation;M-tree

0 引言

无线传感器网络最早从 1968 年起源于教育领域的 ALOHA 网^[1],到目前发展为广泛应用于民用监测,经历了几十年的发展变革,基本确定了其形式是由一系列具备相应收集数据功能的传感器节点和负责最终完成数据处理或任务发布的基站构造的无线自组织网络^[2]。

近年来,节点的组织和数据传输策略已经有了显著发展。如 Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

Protocol(LEACH)^[3]随机选择一些传感器节点作为簇首。而 Sensor Protocol for Information via Negotiation (SPIN)^[4]协议族则通过元数据协商来节约能量。Directed Diffusion^[5]是数据定向传输和融合策略的典范,它通过利用斜度来确定一些增强的路径以获得数据。由 Y. Yu 等人提出的 Geographical and Energy Aware Routing(GEAR)^[6]根据事件区域的地理位置信息建立路由。但经实验数据证明,单基站的传感器网络无法避免负载失衡——尤其首先失效的是连通基站与整个网络的干线节点,从而导致整个网络过早瘫痪^[7]。

在实际应用中,目标区域本外延往往有多个可用的宽带接入位置。文中提出一种多基站协作式分布采集模型,有效提升了实用性和网络稳定性。

收稿日期:2008-10-14;修回日期:2009-02-16

作者简介:张晓晨(1984-),男,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为无线网络路由协议、可信传输。

1 系统模型和出现的问题

以往网络模型的建立都是基于以下条件:将同种,固定并且能量有限的 n 个传感器节点随机分布在目标区域。每一节点具备固定的通讯半径 r 米。通过简化的 GPS-free 方式可以得到各节点的地理位置信息^[8]。节点底层采用简化的 AMAC 协议^[9]来控制响应和睡眠切换。尽管目前有很多流行的分层协议^[10]以及网络成员多元化^[11],文中优先面向非层次模型。

在此网络中,存在负载失衡中汇聚劣势的问题。这种汇聚劣势以往总是通过多路径传输,倾斜网络节点密度以及一些节点备份策略甚至调整接近节点的物理功率等方式解决^[11]。但是始终只能以较大代价^[11]有限增大网络存活时间。

2 MBCM 模型概述

为了解决前叙问题,提出一种多基站协作模型(MBCM),即在目标区域周围(或边界)设置 t 个($t > 1$)互相通过宽带网络保持数据同步的基站,每个无线节点 $S_i(i \in [0, n-1], i \in N)$ 会持有并周期性更新其到达基站的路由代价 $S_i^{\text{cm}}(i \in [1, n], i \in N)$ 。基站则负责维护下属节点的拓扑树并利用同步数据控制整个网络的拓扑结构。

在 MBCM 中的网络行为仍然以拓扑控制和数据传输两种行为为主。如图 1 所示。每个节点都保留有自身的评估代价以及上跳节点信息,整个网络将被构造成一个 M-tree。图 2 显示的是一个由两个基站和十个节点组成的网络中某时刻所形成的拓扑树结构的示例。

节点在传输数据时直接将数据向上发至 M-tree 中其父节点依次将数据转发并最终到达基站。若过程中出现失效节点,则等待结构更新后数据重传。

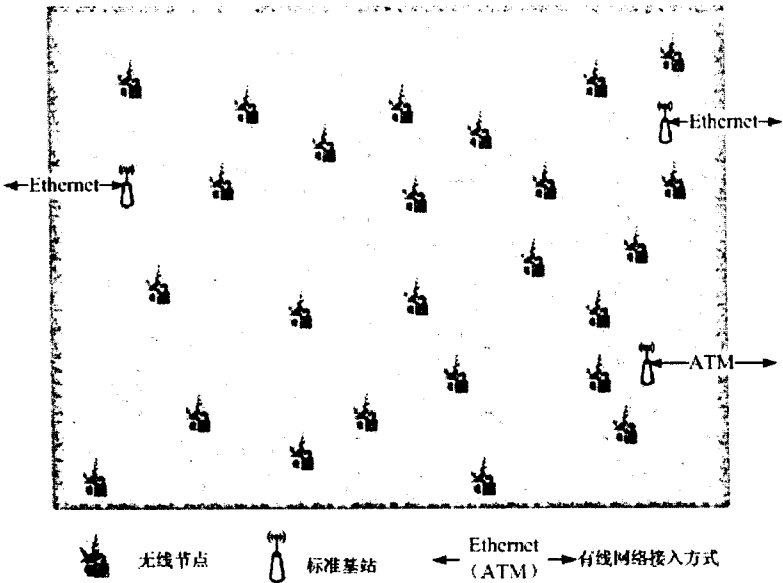


图 1 多基站传感器网络

基站通过分布式数据库和有线网络数据同步技术保持数据模糊同步,从而使每个基站的数据库中 can 以维护整个网络的数据信息。

3 MBCM 算法描述

本节按顺序详细剖析了 MBCM 中的几项关键技术,表 1 为 MBCM 中用到的变量和注释符的定义。

表 1 文中变量和注释符定义

t	基站总数
n	节点总数
B_i	基站 $i, i \in [1, t], i \in N$
S_i	节点 $i, i \in [1, n], i \in N$
S_i^{cm}	节点 i 的路由代价, $i \in [1, n], i \in N$
S_i^{ca}	节点 i 所处的时间序列
f, θ	代价和距离函数
$S_i^{\text{loc}}, S_i^{\text{pc}}$	发送节点的坐标,当前节点的坐标
$S_i^{\text{ene}}, S_i^{\text{re}}$	发送节点的剩余能量,当前节点的剩余能量
E_{ini}	节点的初始能量
T_d	节点工作时间间隔
k	参数 k
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \omega, \varnothing$	变量 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \omega, \varnothing$

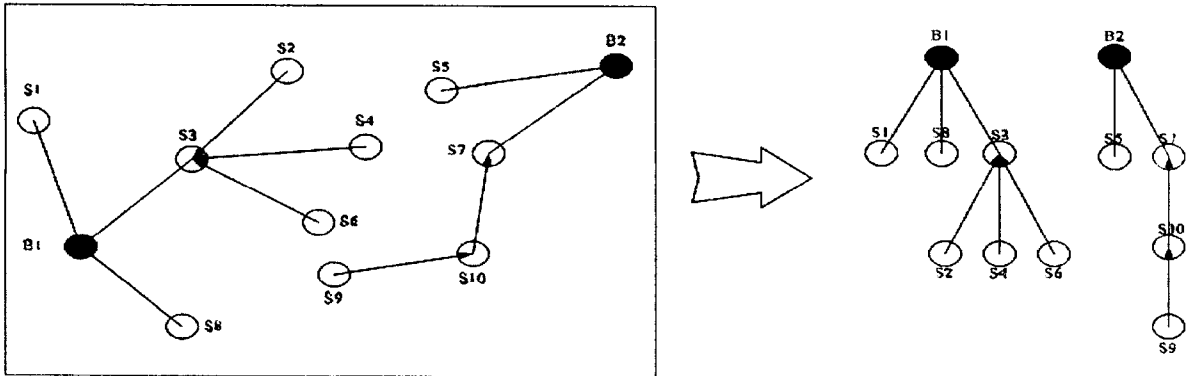


图 2 网络拓扑树构造方式

3.1 拓扑构成和代价评估

在每次拓扑重组的开始阶段,基站 B_i 向直线距离 r 米内的邻居节点广播 IMP-B。

包中包括以下部分:AMAC为MAC层包头; S_{inf} 为源节点信息,包括其地址、坐标、剩余能量和代价; D_{inf} 为目标节点信息,只包含目标节点地址;Type指示了包的类型,共分四种,分别为 IMPB,IMPS,DATA,ACK;Seq确定当前包属于哪个时间序列:在网络中,每次拓扑重构在计算代价时都会改变 Seq,从而使网络中节点得知这是新一轮,而将之前计算所得的代价丢弃,该 Seq 由基站产生,且基站之间 Seq 必须同步;Res 作为保留位,最后的部分用于 CRC 校验。

节点 S_i 收到 IMP-B 后对包内容进行解析。并依据公式(1)确定行为。

$$\begin{cases} S_i^{seq} = Seq \ \& \ S_i^{sm} = f(\theta(S_e^{loc}, S_i^{loc}), \\ S_i^{eng}, E_{ini}, S_e^{sm}); \forall type = IMPB \\ else; \end{cases} \tag{1}$$

$$f(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = \frac{kE_{ini}\alpha}{\gamma \ln \beta} + \delta \tag{2}$$

$$\theta(\omega, \varnothing) = (\omega.x - \varnothing.x)^2 + (\omega.y - \varnothing.y)^2 \tag{3}$$

每个收到 IMPB 的普通节点将发送该包的基站保存为自己的上一跳邻居(PNB)并向邻居节点广播 IMP-S。

邻居节点收到 IMP-S 后对包内容进行解析。并依据公式(4)确定行为。

$$\begin{cases} S_i^{seq} = Seq \ \& \ S_i^{sm} = f(\theta(S_e^{loc}, S_i^{loc}), S_i^{eng}, \\ S_e^{eng}, S_e^{sm}); \forall type = IMPS \ \& \ S_i^{seq} \neq C_{seq} \\ S_i^{sm} = \min(S_i^{sm}, f(\theta(S_e^{loc}, S_i^{loc}), S_i^{eng}, \\ S_e^{eng}, S_e^{sm})); \forall type = IMPS \ \& \ S_i^{seq} = C_{seq} \end{cases} \tag{4}$$

因此,即使节点已经加入某棵树,若其它树传来的同一时间序列的 IMP 信息满足可以使其代价更小,则节点会选择加入新的结构,相应的 S_i^{sm} 被替换且该邻居节点将发送节点保存为 PNB 并广播 IMP-S 包,若不能满足条件则将该包丢弃。依次将整个网络组织成多个 M-tree 结构。

3.2 数据传输

节点接入网络后,以固定周期 T_d 上传数据,即向 PNB 发送 DATA 包。DATA 包是网络中出现最频繁的数据负荷,结合文献[12]提出的能效与数据包长度的关系,DATA 包大小应为 296bit,数据保存在 Data 段。PNB 节点收到后依次传给自身的上层 PNB,直至 DATA 包到达基站。

3.3 ACK 应答

每次节点发出 DATA 包后都会等待 PNB 的 ACK

应答,以确定 DATA 包正常到达 PNB,若等待超过 $\ln T$,则认为该 PNB 为失效邻居,源节点将会保留本次数据等待下次拓扑重构更新 PNB 时抢占时间片重新传输。

4 仿真实验

4.1 仿真模型

在仿真中使用了简化了基于 802.11 的 AMAC,每个节点的传输半径为 40m^[5],450 个节点随机分布在 300m×400m 的区域内,因此平均每个节点周围有 6 个邻居节点,基站被固定在坐标(30,45),(270,250)和(25,250)位置上。在实验中,对比了单基站(S-MBCM),双基站(D-MBCM)和三基站(T-MBCM)场景下的网络存活时间以及节点的失效速率。各参数设置见表 2。

表 2 参数设置

Parameter	Value
Field size(m ²)	300×300
Number of nodes	450
Communication range(m)	40.0
Number of Basestation	1/2/3
Initial energy of node(mj)	2025
Faulting threshold of node(mj)	125
Unexpected faulting rate of node(% per second)	0.01
Simulation time for each experiment(s)	1600.0

4.2 实验数据分析

由图 3 知,基站数量的增加带来网络寿命的大量提升,分别为 D-MBCM 中的 37% 和 T-MBCM 的 57%,而且,在 S-MBCM 中,在网络失效的时候还有约 85% 的节点仍能正常工作,这是因为基站周边的节点由于过多的数据转发业务而较早死亡,从而导致网络失效,这种巨大的浪费在 D-MBCM 和 T-MBCM 中得到了改善。

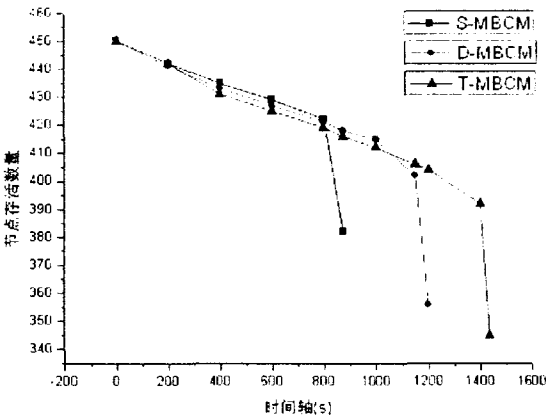


图 3 基站数量对网络中节点生存能力的影响

图 4 中节点剩余能量为节点总剩余能量与所有节点初始总能量的百分比例,可以看出,类似前述原因当网络中还有多达 76% 的能量时 S-MBCM 网络就已

经失效了,经过改进的 D-MBCM 和 T-MBCM 相对可以更有效地利用能量,但因网络失效而无法利用的能量仍在 60% 左右。

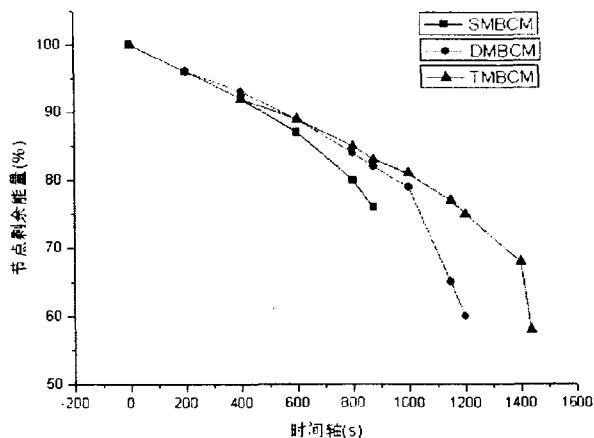


图 4 基站数量对节点能量利用率的影响

5 结束语

将多基站性能提升问题进行了定量比较,并通过仿真实验中的网络生存能力分析进一步将其延伸为非线性优化问题。其定量证实了多基站的优越性,在给定环境中可至多延长 57% 的网络生存时间。

参考文献:

- [1] Perkins C E. Ad Hoc Networking[M]. New Jersey: Addison-Wesley, 2000.
- [2] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Computer Network, 2002, 38(4): 393-422.
- [3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks[C]//IEEE Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii: [s. n.], 2000.
- [4] Heinzelman W R, Kulik J, Balakrishnan H. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks [C]//MOBICOM 99. Seattle, WA: [s. n.], 1999.
- [5] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking[J]. ACM/IEEE Trans. on Networking, 2003, 11(1): 2-16.
- [6] Yu Y, Govindan R, Estrin D. Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks[R]. Los Angeles: UCLA Computer Science Department, 2001: 1-23.
- [7] Yi Shi, Hou Y T. Approximation Algorithm for Base Station Placement in Wireless Sensor Networks[C]//Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2007. SECON '07. 4th Annual IEEE Communications Society Conference. [s. l.]: [s. n.], 2007: 512-519.
- [8] Savvides A, Han C-C, Srivastava M. Dynamic fine-grained localization in Ad hoc networks of sensors[C]//ACM MOBI-COM 01. Rome, Italy: [s. n.], 2001.
- [9] Kautz J T. An Adaptable Energy-Efficient Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks [C]//40th Hawaii International Conference on System Science. Hawaii: [s. n.], 2007.
- [10] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient routing protocols for wireless micro sensor networks [C]//Maui: Proc 33rd Hawaii Intel Conference on System Sciences (HICSS). [s. l.]: [s. n.], 2000.
- [11] Liu Yabin, Du Ruiying. Study on Directional Reliable Multi-hop Clustering Routing Protocol in Wireless Sensor Network [C]//The 4th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM2008. Dalian: [s. n.], 2008.
- [12] Sankarasubramanian Y, Akyildiz I F, McLaughlin S W. Energy efficiency based packet size optimization in wireless sensor networks[C]//In: Proc 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA). Anchorage, AK: IEEE CS Press, 2003: 1-8.

(上接第 12 页)

参考文献:

- [1] Heidemann J, Silva F, Intanagonwiwat C, et al. Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low Level Naming [C]//Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating System Principles. Banff, Canada: [s. n.], 2001: 146-159.
- [2] 张金波, 周金陵, 曹敬. 多传感器管理在无线传感器网络应用中的研究[J]. 微机发展 (现更名: 计算机技术与发展), 2005, 15(10): 155-160.
- [3] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 沈建华, 杨艳勤, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 胡大可. MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [6] Chipcon Products from Texas Instruments. Low-cost Low-power Sub-1 GHz RF Transceiver[EB/OL]. 2007-03. <http://www.chipcon.com>.
- [7] 周挺挺, 沙超, 王汝传. 基于 CC2420 的无线传感器网络节点的设计[J]. 电子工程师, 2007, 33(4): 67-70.
- [8] Skyworks Solutions, SKY65004: 250-2700MHz Linear Power Amplifier Driver[DB/OL]. 2006-09. <http://www.skyworksinc.com>.
- [9] 周怡颐, 凌志浩, 吴勤勤. ZigBee 无线通信技术及其应用探讨[J]. 自动化仪表, 2005(6): 5-9.