

无线传感器网络候选者成簇路由协议

杨 兵^{1,2} 李国徽² 许华杰³ 杜建强⁴

(湖北大学教育学院 武汉 430062)¹ (华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)²
(上海第二工业大学计算机与信息学院 上海 201209)³ (江西中医学院计算机科学系 南昌 330006)⁴

摘 要 LEACH 协议是一种重要的层次型路由协议,它通过周期性轮换网络中的簇头节点来均衡所有节点能耗。但是 LEACH 协议的随机策略会导致在路由过程中产生不合理的层次结构,影响网络的性能。CCRP 协议采用一种基于候选者的成簇机制和基于预测策略的多帧传输机制,能够解决 LEACH 中层次结构不合理的问题,并降低节点失效带来的负面影响。实验证明 CCRP 与 LEACH 相比具有更好的节能性和容错性。

关键词 传感器网络,路由协议,层次型路由,能量有效性

Candidate-based Cluster Routing Protocol in WSN

YANG Bing^{1,2} LI Guo-hui² XU Hua-jie³ DU Jian-qiang⁴

(School of Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)¹

(School of Computer Science & Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)²

(School of Computer and Information, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China)³

(School of Computer Science, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330006, China)⁴

Abstract LEACH is an important hierarchical routing protocol. It changes the cluster head periodically with the intention of saving energy. But it has bug in the clustering policy that brings on inappropriate cluster structure. CCRP introduces a clustering policy based on candidate and a multi-frames data transferring policy based on forecast to resolve the problem. The simulation result proves that CCRP is effective.

Keywords Wireless sensor network, Routing protocol, Hierarchical routing protocol, Energy efficient

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)作为一个新的信息获取方式和处理模式,由随机分布的传感器节点通过自组织方式构成,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域被感知对象的信息,再发给观察者^[1]。与传统网络相比,无线传感器网络有自己独有的特征:节点数量大,密度高;以数据为中心;节点有一定的故障率,拓扑结构变化很快;节点的能量、计算能力和存储容量十分有限^[2]。这些独特的要求和制约因素为无线传感器网络研究提出了新的技术问题^[3]。

在无线传感器网络中,大多数节点都无法直接与 sink 节点通信,需要经过中间节点进行多跳路由。路由协议作为无线传感器网络核心研究内容,其主要任务就是在传感器节点间建立路由并可靠地传输数据。每个传感器节点所带的能量有限,而通讯、计算、传感等过程都要消耗能量,故路由协议设计的首要原则是节省能量,延长网络的生存期。协议不能太复杂,不能在节点保存太多的状态信息,节点间不能交换太多的路由信息;同时应尽量避免发送冗余信息,减少能量的浪

费^[4]。传统的网络路由协议将服务质量放在首位,能耗放在其次,因而无法采用传统的路由算法。

本文第2节是相关工作;第3节介绍基于候选者的成簇路由协议;第4节给出性能评价;最后作出总结。

2 相关工作

在众多的路由协议研究中,层次路由的能量消耗比较均衡,节点的死亡也是随机的。LEACH 算法^[5]是无线传感器网络最早的分级路由协议之一,LEACH 协议的思想激发了许多其它的分级路由协议。LEACH 协议将整个网络节点分为2层,按照一定比例选出部分节点作为首领节点,称作簇头(Cluster-Head);剩下节点称作普通节点。LEACH 协议采取以下措施实现节能:

(1)随机的、自适应的成簇方法。用随机策略公平选取簇头,平衡整个网络节点的生存时间,节点根据距离因素自行判定该加入的簇;

(2)数据传输的局部控制。普通节点直接将监测数据传送给所属簇的簇头,而不是传送给 sink 节点或在整个网络中多跳传输;

到稿日期:2009-12-30 返修日期:2010-02-25 本文受国家高技术 863 计划(项目编号:2007AA01Z309),国家自然科学基金(项目编号:60873030),国防预研基金(项目编号:9140A04010209JW0504,9140A15040208JW0501)和湖北省自然科学基金资助。

杨 兵(1975—),男,博士后,主要研究方向为移动实时数据库系统、无线传感器网络,E-mail:yangbing@126.com;李国徽(1973—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为现代数据工程、实时数据库系统、无线传感器网络;许华杰(1974—),男,博士,讲师,主要研究方向为实时系统的容错、节能技术、移动实时数据库的事务处理、无线传感器网络;杜建强(1968—),男,教授,主要研究方向为医学图像处理。

(3)数据融合技术。簇头接收到簇内节点的数据后,先进行融合处理再发送给接收点,从而降低了数据冗余,减少了网络整体需要的数据传输量,提高了网络的性能。

LEACH 路由协议将其工作的一个周期划分为簇建立阶段和稳定传输阶段,这个周期叫做轮(round),如图 1 所示。

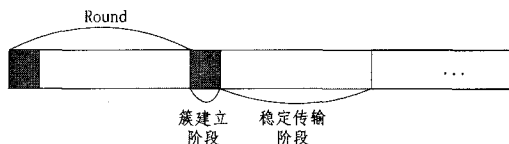


图 1 Leach 协议的 Round 构成

LEACH 协议采用随机策略选取簇头,虽然在统计上满足了平均性,但是实际上并没有平衡好整个网络的簇分布,可能导致两种不妥当的成簇情况。首先,选取簇头时没有考虑能量因素,可能选出某些能量很低甚至低于网络平均水平的节点,这些节点很快会由于无法支撑繁重的簇头工作继而死亡。其次,在选取时没有考虑节点的位置因素,可能会使得某些区域的簇头分布过于集中,而某些区域的簇头分布相对稀疏。

LEACH-C^[6]是一种在 LEACH 基础上提出来的集中式分簇路由协议,可以有效解决聚类数目不确定和簇头节点选取优化问题。它采用基站集中式管理的选簇方式,所有节点先将自己的能量信息和地理位置发送给接收点,这样基站就掌握着网络整体的能量状态和拓扑结构。接着采用模拟退火算法随机选取 r 个节点,计算此时的簇内距离之和,将这个过程重复迭代 n 次,找到其中最优的 r 个节点作为备选节点,其中能量低于网络平均水平的节点不能成为候选节点。LEACH-C 能有效增加到达基站的数据量,提高了网络的生命期。但是,这个在能量上和地理位置上都是最优的节点集合其实只是局部最优,因为要找出这个集合是一个 NP 问题。

HEED(hybrid energy-efficient distributed clustering)协议^[7]也是一种从 LEACH 中衍生出来的、为优化分簇而产生的分簇路由协议。它的设计目标是延长网络生命周期,符合可扩展性和负载均衡。簇头的选择方法主要是依据节点的能量,具有较多剩余能量的节点将有较大的概率成为簇头,而最终该节点是否能成为簇头还要取决于其剩余能量是否比周围节点多得多,即迭代过程是否比周围节点收敛得快;落在多个簇范围内的节点选择加入哪个簇要参考簇内的通信代价,以簇内平均可达能量作为衡量簇内通信代价的标准。HEED 采用分布式的簇头产生方式,簇头产生在有限次迭代内完成,最小化控制报文开销,使得簇头能合理分布。HEED 在簇头选择中考虑了节点的剩余能量,并引入了多个约束条件作用于簇头的选择过程,在簇头选择标准以及簇头竞争机制上都与 LEACH 有所不同。HEED 的分簇速度更快,能产生更加均匀分布的簇头、更合理的网络拓扑。

LEACH 协议每一轮重新组织分簇,防止簇头节点死亡所带来的网络瘫痪,有一定的容错性,但是没有考虑到节点消亡对本轮数据传输的影响,尤其是在网络生命期后期整体能量较低的时候,这种影响就越发明显。如果簇头节点在传输阶段没有结束时便消亡,簇内节点并没有及时得到通知,仍然一直向簇头节点发送数据包,就会造成数据包的丢失和能量的浪费。

为了提高 LEACH 协议的容错性,文献[8]提出了一种基于多簇头的分簇路由协议 CRAM (Multi-CHs-One-Cluster method),即在一个簇内安排不只一个簇头,通过它们间的相

互配合来完成簇内通信工作。CRAM 采用和 LEACH 相似的方法选取簇头和实现分簇,然后由簇头来选择簇内的其它辅助簇头节点。记簇头为 1st CH,其他辅助簇头依次记作 2nd CH, 3rd CH, ..., Lth CH, 1st CH 向簇内的所有节点广播簇头集合的消息和时间片序列。稳定传输阶段被平均分成 L 等分给这 L 个簇头共同合作来完成数据采集、数据融合和数据发送工作。由于采用了若干簇头协同工作的机制来减轻簇头失效的影响,较之 LEACH, CRAM 在一个 round 内连续发送数据到接收点的成功率要高,这种优势在网络持续时间越长的情况下越明显。但是普通节点担任簇头需要消耗更多的能量,而且在实现上也不够简单。

3 基于候选者成簇路由协议 CCRP

3.1 基于候选者簇头选择机制

为了弥补原来 LEACH 协议中随机簇头选择机制对网络造成的负面影响,本文采取一种基于簇头候选者(Candidate)的簇头选择机制,用二次选择的方式对候选者再进行一次筛选,满足一定条件的才能顺利当选为簇头。为了避免簇头的选择过于集中,每一个候选者都有一个候选半径,在筛选候选者的时候要参考这个候选半径。一旦某个节点当选簇头,那么其候选半径内的所有优先级低于该节点的候选者都要放弃候选资格。这种基于候选者的簇头选择机制通过对簇头进行一系列的条件限定,来保证分簇结果能更加合理并符合平衡整体能耗的原则。

簇建立阶段开始时,按一定比例 T 在全体 n 个节点中选出 t 个节点成为候选者, $t = n * T$, 没有被选中的节点进入休眠状态,每个候选者向网络中其它候选者广播自己的候选者信息。候选者信息包括节点 ID、当前能量、候选半径和地理位置。候选者接收到来自周围其他候选者的信息后,将优先级比自己高的候选者信息存入一个等待集合 W 中。每一个候选者都必须等待 W 中的所有节点放弃候选资格后才能被选为簇头;一旦 W 中有一个节点成为簇头,那么该候选者就要放弃候选资格。

3.1.1 候选半径

在无线传感器网络中,数据传输时的能量消耗是和距离的平方成正比的。设定候选半径的目的是,让靠近接收点的簇头节点获得更多的簇成员,承担相对较多的簇内通信任务;让远离接收点的簇头节点获得较少的簇成员,承担相对较少的簇内通信任务,节省能量。随着向接收点的靠近,候选半径应逐渐增大。记 $d_{\max}$ 和 $d_{\min}$ 是网络中的节点到接收点距离的最大值和最小值, d_{toBS} 是候选者到接收节点的距离, R^0 是一个常量,则:

$$R_c = (1 - q) \frac{d_{\text{toBS}} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} R^0 \quad (1)$$

从式(1)中可以看到,随着 d_{toBS} 的减小, R_c 在增大,当 $d_{\text{toBS}} = d_{\min}$ 时, $R_c = R^0$ 是网络中所有候选半径的最大值;当 $d_{\text{toBS}} = d_{\max}$ 时, $R_c = (1 - q) R^0$, q 是一个小于 1 的常数。在文献[9]中也有提到候选半径的概念,但是本文的应用环境与之不同,所以候选半径的计算方法也有所差别。

3.1.2 优先级策略

当候选者 C_i 接收到 C_j 的候选信息时,采用的优先级策略是:

(1) IF (energy(C_i) > energy(C_j)) THEN priority(C_i) > pri-

ority(C_j), 如果 C_i 的剩余能量高于 C_j , 则 C_i 的优先级高于 C_j ;

(2) IF (energy(C_i) == energy(C_j) && nodeID(C_i) < nodeID(C_j)) THEN priority(C_i) > priority(C_j), 当 C_i 的剩余能量与 C_j 相同时, 节点 ID 越小, 其优先级越高。

候选者按这种约束关系构成等待集合 $W_i = \{C_j | C_j \text{ 在 } C_i \text{ 的候选半径中且 } C_j \text{ 的优先级高于 } C_i\}$ 。从图 2 中看出, C_1 和 C_2 可以同时当选为簇头, 但是 C_3 如果在优先级低于 C_1 的前提下, 必须等 C_1 做出决策后, 才有可能成为簇头。

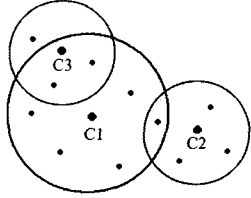


图 2 候选者的候选半径

由于每个候选者都要在其等待集合中的所有节点做出决策后才能成为簇头, 那么网络中至少要存在一个等待集合为空的候选者, 不然路由协议将无法开始正常工作。本文采用的优先级策略可以保证这一点, 可以由反证法得到证明。假设, 所有候选者的等待集合都为非空, 那么至少存在 $W_i = \{C_j, C_k, C_m\}, W_j = \{C_i, C_k, C_m\}$ 。因为 $C_j \in W_i$, 所以 priority(C_i) < priority(C_j), 那么只可能有两种情况: 一种是 energy(C_i) < energy(C_j); 另一种是 energy(C_i) = energy(C_j) && nodeID(C_i) > nodeID(C_j)。同理因为 $C_i \in W_j$, 可以推出 energy(C_i) > energy(C_j); 另一种是 energy(C_i) = energy(C_j) && nodeID(C_i) < nodeID(C_j)。显然这两种结果不能同时成立, 所以假设错误, 证明成立, 网络中至少存在一个等待集合为空的候选者。

3.1.3 基于候选者成簇机制的工作过程

这种基于候选者的成簇机制的工作过程可以概括如下: 每一轮 Round 开始时, 与 LEACH 采用的做法类似, 产生一个随机数, 与阈值 T 比较, 不同的是这里的 T 指的是网络全部节点中的候选者比例。候选者获得候选资格后计算候选半径, 在广播候选信息的同时也收到别人的候选信息。根据优先级策略, 生成一个等待集合, 等待集合中的其它节点向自己发送候选成功或是放弃候选的报文。因为网络中至少存在一个等待集合为空的候选者, 那么它必然最先当选为簇头, 并向其他节点广播候选成功的信息。当收到候选成功的报文时, 节点检查该簇头是否在自己的等待集合中, 在的话就放弃候选, 并广播消息告知其他节点。当收到放弃候选的报文时, 节点将该候选从自己的等待集合中删去, 直到集合为空, 节点当选为簇头或集合为空节点就放弃了候选。

3.2 基于预测具有容错性的多帧通信机制

在分簇合理的情况下, 应该使数据传输阶段稳定地持续一段较长的时间, 目的是充分发挥网络的性能, 减少建簇阶段的通信开销。LEACH 采用多帧通信机制 (Multi-Frames) 来达到这个目标, 将整个传输阶段划分为若干帧 (Frame), 在每一帧内为普通节点分配时间片 (Slot), 普通节点只在属于自己的时间片内进行数据传输, 每一帧中每一个普通节点只有一次数据传输机会, 簇头节点融合本帧收集的数据向接收点发送一次。对于 LEACH 路由协议的簇头失效对网络性能带

来的影响, 本文采用预测策略来解决。

3.2.1 预测策略

TEEN 协议通过设置门限值的做法来降低网络能耗, 但是 TEEN 中的门限值是固定不变的, 不适应能量状态不断变化着的传感器网络环境, 容易产生瓶颈。为满足网络真实情况, 我们通过预测策略设置可变门限, 避免由固定门限造成的不良影响。

簇头在每一帧数据传输时也要存储以前各帧的能耗值, $E_{frame}(i)$ 表示第 i 帧的数据传输中的能量消耗, 可以按照一定的预测策略预测出下一帧中的能耗 $\epsilon_{frame}(i+1)$ 。记当前剩余能量为 $E_{CH-Left}$, 如果 $E_{CH-Left} - \epsilon_{frame}(i+1) < \delta$, 当节点的剩余能量与预测值相差不足 δ 时就认为簇头不足以担任新一帧的传输工作, 让其进入休眠状态, 保存能量, 同时通知簇内的其它节点, 也都进入休眠状态。由于现实中传感器网络的节点覆盖范围通常都很密集, 数据冗余量很大, 因此关闭某一个簇的节点在实时性要求不严格的应用环境下是可以容忍的。这种做法不仅不会影响网络的正常工作, 在网络已经运行了多轮之后, 整体能量偏低的情况下反而能保存节点的能量, 推迟节点死亡时间, 延长网络的整体寿命。

已知 $E_{frame}(1), E_{frame}(2), \dots, E_{frame}(i)$, 计算 $\epsilon_{frame}(i+1)$ 有多种方法。可以采用最大值策略: $\epsilon_{frame}(i+1) = \max\{E_{frame}(1), E_{frame}(2), \dots, E_{frame}(i)\}$ 。但这是一种保守估计的预测方法, 找出历史帧中的最大能耗值作为阈值, 可能导致簇头还有较大的保留能量没有用于数据通信, 造成网络效率降低。也可以采用平均值策略: 取 $\epsilon_{frame}(i+1) = \frac{1}{i} \sum_{n=1}^i E_{frame}(n)$, 这是一种较合理而且简单的估计方法, 以历史数据的期望作为衡量标准, 有一定的可靠性。

随着网络运行轮数的增加, 节点剩余能量越来越小, δ 应该随着时间的推移动态地变化, 设 $\delta = \delta_0 - r * \lambda$, δ_0 是初始阈值, r 是轮数, λ 是常量, 可依据应用环境自行设置。 r 越大, δ 就越小, 能够有效地延长传输帧数, 正常发挥网络性能。

3.2.2 容错处理

在传感器网络的实际应用中, 传感器节点经常会由于能量用尽、物理损坏或环境干扰等因素造成故障或失效。节点失效不应当影响网络任务的执行, MAC 和路由协议必须保证新的链路产生, 并且能把数据成功路由到基站。一个好的路由协议必须要具备一定的容错性。在本文提出的路由协议中, 节点失效包括簇头节点失效和普通节点失效两种情况, 采用一种具有容错性的基于预测策略的多帧通信机制, 使路由协议能在节省能耗的基础上也具备一定容错处理能力。

簇头节点在每一帧的数据传输开始前, 要先行预测这一帧的能耗量, 很大程度上避免了簇头节点在本帧结束前中途死亡的现象, 但并没有完全消灭这种现象。所以, 将路由协议的传输阶段设计成簇头在每一帧都要重新向簇内节点发送 TDMA (Time Division Multiple Access, 时分多址) 时间序列, 那么簇头失效造成的影响只会局限在这一帧之内, 下一帧时簇内节点没有收到新的时间序列, 便得知簇头已失效, 为保存能量也进入休眠状态。以上只是从簇头失效的角度考虑, 由于簇内节点也会失效, 虽然不会对别的节点的正常传输造成影响, 却占据着 TDMA 序列, 浪费了时间片。所以让簇头每一轮发送更新后的 TDMA 消息也是为了消除簇内节点失效

带来的影响,形成新 TDMA 序列的方法是:将上一次收到的数据包发送者集合与旧的 TDMA 序列对比,若是序列中有的节点上一帧没有传来数据,则说明这些节点已失效,将其从 TDMA 序列中删除,缩短 TDMA 序列的长度以获得更短的帧时间,从而增大数据的传输量。这一做法既考虑到了簇头的失效又兼顾了簇内节点的失效,提高了网络的整体效率。

3.3 CCRP 协议概括

CCRP 协议将网络路由分为成簇阶段和稳定传输阶段,成簇阶段采用基于候选者的簇头选择机制,在约束条件下对簇头候选者进行进一步的筛选,一定程度上抑制了成簇结果的随意性,保证了成簇的合理性,并降低了能耗。二次选择后胜出的候选者成为簇头,向网络中广播获胜消息,以便普通节点按最短距离原则自组织成簇,这里与 LEACH 协议中的工作过程相同。在稳定传输阶段,CCRP 采用了基于预测的多帧数据传输机制,每一帧开始前簇头都要预测本帧的能耗,发现能量不足则关闭本轮通信,进入休眠状态。不同于 LEACH 中只发送一次 TDMA 序列的做法,为了能处理节点失效的情况,簇头节点每一帧预测结束后都要发送一次 TDMA 序列,既能发送时间片序列同时也能检验节点的状态。帧内的数据传输和簇头的数据融合采用 LEACH 协议中的工作模式。

无线通信和有线通信不同,每个传感器节点中只有一个信号发射器,它要么发送,要么接收,无法在发送的时候侦听到冲突。路由协议中经常需要发送广播消息,这时就需要一定的策略来避免广播冲突了,MAC 层虽然可以采用载波监听定时器来对信道进行监听,但却无法避免广播冲突。在路由过程中可能产生两种广播冲突:

(1)接收-接收冲突。当某个节点同时收到来自 2 个以上其它节点的广播消息时,会产生接收-接收冲突。比如在 CCRP 中候选者发送广播和簇头发送广播的时候。

(2)接收-发送冲突。当某个节点正要发送广播的时候收到来自其他节点的广播消息,会产生接收-发送冲突。比如在 CCRP 中候选者接受簇头广播时正要发送放弃候选的消息。

LEACH 中的做法是强制错开广播发送时间,基本上能有效防止冲突,CCRP 中也采用相似的做法。因为每个节点并不知道其他节点的情况,每个候选者也并不知道网络中产生的其他候选者的数量,所以要用一个值唯一的变量来定制广播候选者信息的时间,我们选择候选者 ID,把 ID 乘以一个固定的时间来作为发送广播的时间点。

4 模拟实验

4.1 网络环境与参数设置

为了评价我们提出的路由协议,在 NS2 环境下对其进行仿真实验。假定有 100 个同构的传感器节点均匀散布在一个 100×100 的区域中,基站位置为 (50, 175),节点均是静止的。通信常量分别设置为 $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$,无线收发机处理 1bit 的数据包需要消耗能量 50 nJ ; $E_a = 5 \text{ nJ/bit}$,簇头节点进行数据融合时每处理 1bit 的数据包需要消耗能量 5 nJ ; $\epsilon_{amp} = 100 \text{ pJ/bit} \cdot \text{m}^2$,功率放大器向单位面积发送 1bit 的数据包需要消耗能量 100 pJ 。数据包的真实数据大小为 500bytes,数据包包头大小为 25bytes。网络带宽为 1Mbps,节点的初始能量值为 2J,一个 Round 的持续时间为 20s。网络中广播数据包的类型设定如表 1 所列。

表 1 广播数据包的类型

簇头节点广播	ADV_CH
节点申请加入簇	JOIN_REQ
发送 TDMA 时间序列	ADV_SCH
发送数据	DATA
候选者广播	ADV_COMP
候选失败	COMP_FAIL
簇头节点本帧休眠	CH_SLEEP

4.2 模拟结果分析

本文在进行模拟时选取了 100×100 区域中的随机分布的 100 个节点,如图 3 所示,接收点位置为 (50, 175)。整个网络中最远的两个节点距离 139,节点到接收点的最近的距离为 79,最远距离为 179。

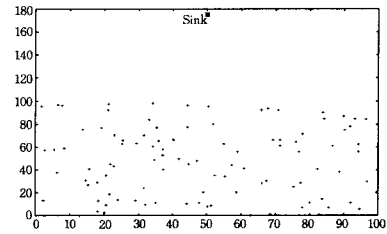


图 3 实验中的节点分布情况

4.2.1 候选半径的设置对网络性能的影响

由式(1)可知候选半径 R_c 与 R^0 和 C 这两个常量有关,候选半径的选择是 CCRP 整个簇头选择机制的关键, R_c 的值直接影响到网络的性能。理论上讲,候选半径越小,选出的簇头越多。所以随着 R_c 取值的增大,簇头的数目应该随之减少;随着 q 的增大,簇头的数目应随之增多。为验证这一点,对应不同的 R^0 和不同的 q 取值进行模拟。从图 4 和图 5 中可以看到 R^0 分别取 30, 45, 50, 75 和 q 取值 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 时,在其他参数相同的情况下 CCRP 每轮的成簇数目。虽然受随机策略的影响,结果在一定范围内浮动,但是整体变化趋势与理论上的预测是一致的。

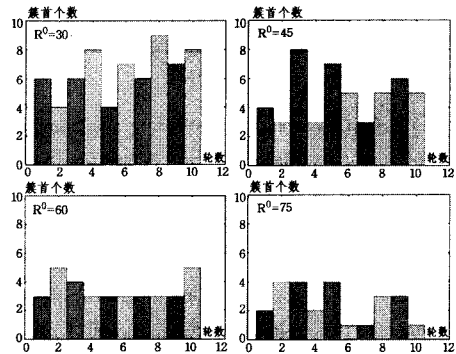


图 4 不同的 R^0 取值对簇头个数的影响

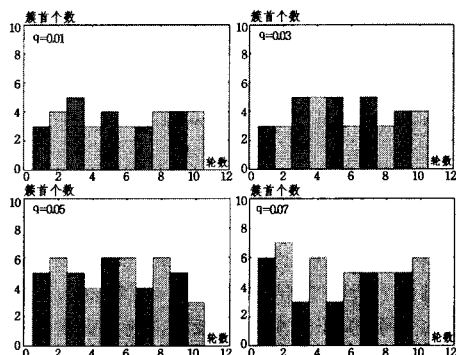


图 5 不同的 q 取值对簇头个数的影响

4.2.2 与 LEACH 的网络性能对比

由于 CCRP 采用了候选者的机制来平衡网络的成簇,使得网络分簇能更为平均,同时又限制了成为簇头的条件,避免了一些能量偏低的节点被选为簇头。其对分簇结构的优化更好地均摊了网络的能量消耗,从整体上延长了网络的生存时间。从图 6 中可以看到,同等轮数下 CCRP 的全网能耗小于 LEACH,整体生存时间得到延长。

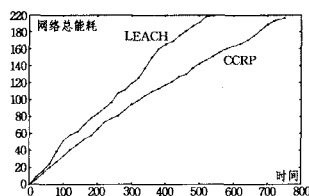


图 6 初始能量为 2J 时, LEACH 与 CCRP 网络总能耗对比

在数据传输阶段 CCRP 采用预测策略防止能量过低的节点继续担任高能耗的数据融合和传输工作,推迟了节点的死亡时间。并且由于簇头能及时发现失效的节点,将其剔除时间片序列,缩短了帧周期,增大了节点的可传输次数。从图 7 中可以看到,当网络进入整体能量已经偏低的生命期,CCRP 的第一个节点的死亡时间要比 LEACH 来得晚。

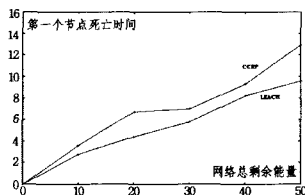


图 7 网络低能量状态时, LEACH 与 CCRP 的第一个节点死亡时间比较

结束语 在实际应用中,传感器网络的路由协议还有很大的优化空间和很多待解决的问题。对于能耗的苛刻限制使得要设计一个各方面均有优异表现的路由协议十分困难,而

且设计的时候还要考虑到网络的其他层次和整体结构。本文对路由协议的研究都是在理想条件下进行的,现实中还要考虑到很多实际因素的影响。另外对于大型网络还可能需要进行多层分层,这也是今后研究的方向。

参 考 文 献

- [1] Warneke B A, Pister K S J. MEMS for distributed wireless sensor networks[C]// The 9th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Piscataway, NJ, USA, 2002; 291-294
- [2] Frodigh M, Johansson P, Larsson P. Wireless Ad-hoc networking: the art of networking without a network[J]. Ericsson Review, 2000, 4: 248-263
- [3] 李建中, 高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 1-15
- [4] Akyildiz I F, Cayirci E, Su W, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2003, 38(4): 393-422
- [5] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences, Maui; IEEE Computer Society, 2000; 3005-3014
- [6] Heinzelman W. Application-Specific protocol architectures for wireless networks[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [7] Younis O, Fahmy S. Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669
- [8] Zheng Zeng-wei, Wu Zhao-hui, Lin Huai-zhong, et al. CRAM: An Energy Efficient Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks [C] // Proceedings, 19th ISCIS. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004; 341-350
- [9] 李成法, 陈贵海, 叶燃, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36
- [39] Liu Y, Li S, Cao Y, et al. Understanding and Summarizing Answers in Community-based Question Answering Services[C]// Proc. of COLING 2008. Manchester, 2008
- [40] Li B, Liu Y, Agichtein E. CoCQA: Co-Training Over Questions and Answers with an Application to Predicting Question Subjectivity Orientation[J]. Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Honolulu, Hawaii, USA, 2008; 937-946
- [41] Li B, Liu Y, Ram A, et al. Exploring Question Subjectivity Prediction in Community QA[C]// Proc. of SIGIR2008. Singapore, 2008; 735-736
- [42] Cong G, Wang L, Lin C Y, et al. Finding question-answer pairs from online forums[C]// Proc. of SIGIR2008. Singapore, 2008; 467-474
- [43] 高琦. 图书馆参考咨询与“百度知道”合作探析[J]. 图书馆学研究, 2008(10): 90-93
- [44] 杨思洛, 毕艳娜. 搜索引擎的互动问答平台及其对数字参考咨询服务的启示[J]. 图书馆学研究, 2007, 51(2): 96-99
- [45] 毛丹. 中文网络知识问答平台对数字参考咨询服务的启示[J]. 图书馆学研究, 2009, 6: 79-81
- [46] Yeh T, Lee J, Darrell T. Photo-based Question Answering[C]// Proceedings of the 16th International Conference on Multimedia. Vancouver, British Columbia, Canada, 2008; 389-398
- [47] Yeh T, Darrell T. Multimodal Question Answering for Mobile Devices[C]// Proc. of the 2008 International Conference on Intelligent User Interfaces. Gran Canaria, Canary Islands, Spain, 2008; 405-408
- [48] Li G, Ming Z, Li H, et al. Video reference: question answering on YouTube[C]// ACM Multimedia 2009. Beijing, China, 2009; 773-776
- [49] Hong L, Davison B D. A classification-based approach to question answering in discussion boards[C]// Proc. of SIGIR 2009. Boston, MA, USA, 2009; 171-178
- [50] Livonia M. Quicken Loans Word of Mouth Marketing Award [EB/OL]. <https://www.quickenloans.com/about/press-room/quicken-wins-wommie-award>, 2007-12-11
- [51] Matt M. Part Two: Why Use Yahoo! Answers[EB/OL]. <http://www.smallbusinesssem.com/part-two-why-use-yahoo-answers/1063/#ixzz0TgPSaIZZ>, 2008-02-12