

一个新型分布式无线传感器分层路由协议

刘春涛, 陆建德, 王月平

(苏州大学 计算机科学与技术学院

江苏省计算机信息处理技术重点实验室, 江苏 苏州 215006)

摘 要: LEACH 算法假定所有节点都可以和 Sink 节点通信, 致使其不适合大规模网络场景下的应用。一些研究机构力图对 LEACH 进行改进, 但是这些改进本身要么需要大量的计算, 要么需要占用大量的存储, 不适合在实际应用中使用。在分析现有算法的基础上, 提出了一种分布式的、簇间多跳的无线传感器分层路由协议 MSRP, 并在 OMNET++ 平台上进行了仿真。算法通过簇间多跳机制提高协议的扩展性; 协议提出了基于邻接度、剩余能量等信息的随机数加权簇头选举机制, 使簇头的分布更加合理; 协议提出“虚拟 Sink 层技术”缓解“通信热区”问题, 抵御 Wormhole 攻击。仿真结果表明, MSRP 路由协议有较低的能耗、良好的扩展性, 适合在大规模网络场景中使用。

关键词: 无线传感器; 路由; 多跳; 扩展性

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)04-0035-04

A New Distributed WSN Cluster - Based Routing Protocol

LIU Chun-tao, LU Jian-de, WANG Yue-ping

(Jiangsu Province Computer IT Key Lab, School of Computer of Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: LEACH route protocol supposes that all nodes can communicate with Sink node directly. It's not suitable for large-scale wireless sensor networks. Some research institutions try to optimize the protocol, but the works need either high power processor or big space, cannot be used in practice. On the analysis of current protocols, design a distributed, multi-hop WSN routing protocol MSRP and simulate it on a platform called OMNET++. The scalability of the protocol is improved through the inter-cluster multi-hop mechanism. The cluster head election mechanism with random weighted number based on information including adjacency degree, the remaining energy and etc. is given to make the distribution of cluster heads more reasonable. A virtual sink layer technique is proposed to mitigate communication hot zone problem and defend against Wormhole attack. The simulator results show that MSRP can be used in large-scale sensor networks.

Key words: WSN; routing; multi-hop; scalability

0 引言

LEACH^[1]协议是由 MIT 的 Heinzelman 等人提出的第一个层次型路由协议。LEACH 协议采用分簇算法, 节点轮流进入睡眠, 节省了簇内能量消耗; 同时, LEACH 采用轮的方法均衡整个网络的能量消耗。再加上簇类协议与生俱来的良好扩展性, 使其很适合在大规模传感器网络中使用^[2]。然而, LEACH 路由算法采用单跳的通信机制, 只能在节点无线通信一跳通信大小的场景中使用。由于节点的通信能量消耗和通信距离的 n (一般情况下 n 取 3) 次方成正比^[3], 随着通

信距离的增加能量消耗将剧增, 节点单跳通信距离一般在 100 米左右为宜。所以, LEACH 协议不适合大规模网络中应用^[4]。

为了克服 LEACH 协议不适合大规模网络的缺点, 一些结构对 LEACH 算法进行了改进。Vivek Mhatre, Catherine Rosenberg 等提出了一个簇内多跳的路由协议^[5], 由于簇内成员仍然需要与远距离的簇头通信, 获取自己的簇头信息, 产生大量的长距离通信。协议虽然可以在大规模的网络场景中使用, 但是能耗却非常高。Yong Yuan 博士提出了一个多跳的路由协议^[6], 但是算法引入了距离矢量算法, 需要节点保存一个本轮簇头的路由表。由于传感器节点容量有限, 该协议也不适合在大规模网络中使用。

文中提出了一个分布式、簇间多跳的无线传感器分层路由协议 MSRP (Multi-hop Shortest-path based

收稿日期: 2009-06-17; 修回日期: 2009-11-03

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(08KJB520011)

作者简介: 刘春涛(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络; 陆建德, 教授, 研究方向为计算机网络与网络安全。

Routing Protocol),并在 OMNET++ 平台上进行了仿真。

1 LEACH 特点和缺陷分析

LEACH 引入了轮的概念,每一轮对节点分簇。簇头节点负责融合来自簇内源节点所产生的数据,减少了网络中的冗余数据。簇头还负责对簇内成员发送调度信息,每个成员在自己的时间槽内发送数据,在其它时间进入睡眠。由于无线传感器网络中的能耗主要集中在节点的无线通信模块^[7],节点只有在睡眠时才能大量节省能量消耗,LEACH 算法只有簇头的无线收发模块处于常开状态,其它节点都可以进入睡眠状态,有效地节省了网络的能量。另外,节点轮流成为簇头,均衡了整个网络的能量消耗,避免一些节点能量消耗过快,产生监测盲区 and 路由空洞,进一步延长了网络生存周期。LEACH 簇内通信采用 TDMA 机制,簇间通信采用 CDMA 机制,减少了无线信号的发送冲突,提高了网络的吞吐量。仿真表明,与一般的平面路由协议和静态分层算法相比,LEACH 将网络生命周期延长 15%^[1]。

尽管 LEACH 能够提高网络的生存时间,但是仍存在着不足:由于每个节点都要与 Sink 节点直接通信,单跳的通信机制限制了算法的扩展性,不适合在大规模网络中使用。为了提高传统 LEACH 路由协议的扩展性,并尽量降低网络的能耗,我们提出了 MSRP 协议。

2 设计思想

MSRP 路由协议是一个分布式的、簇间多跳的分簇路由协议,协议分为:洪泛起跳、自组织成簇、簇间路由发现和数据传送三个阶段。下面对算法的主要设计思想进行详细阐述,对节点的动态加入和删除、路由空洞、路由环等路由设计的关键问题给出解决办法。

2.1 协议的启动与同步

在 MSRP 路由算法中,每个传节点都保存一个邻居表和下一跳路由表。邻居表保存邻居节点的位置、编号、是否可以作为下一跳路由标志等信息。邻居表的大小参数根据实际应用中网络部署密度和节点存储空间的大小,在满足连通度的情况下尽量选择最小。路由表保存节点的下一跳路由。由于路由表只保存一条数据,路由检索效率将大大提高。

协议启动时每一个节点先根据一定的概率确定自己是否是本轮簇头,然后将此信息和自己的位置信息打包成一个 HelloMessage 广播给所有邻居。广播半径同邻居表一样可以根据实际应用进行调整。Sink 节

点收到 HelloMessage 后,把自己的 Id、位置信息也广播到自己的邻居。

这样一轮洪泛后每个节点都知道自己的邻居信息、邻居簇头信息和 Sink 节点信息。

2.2 自组织成簇

每个节点按照接收到的簇头信息的无线信号强度 RSS 门限和距离门限维护一个邻居簇头表,保存和节点本身相邻的簇头。邻居簇头表的选取用参数 RSS 强度门限和距离门限控制表内记录的数量。在实际应用中,根据网络部署状况,在能耗、连通度和节点的存储空间之间寻求平衡,设置适当的参数,使邻居簇头表只保存距离该节点较近、信号强度较强的簇头节点的信息,从而有效的克服了传感器存储能力有限的瓶颈。节点从邻居簇头表根据 RSS 强弱和通信距离,计算一个通信消耗能量最小的节点作为自己本轮通信中的头节点,向簇头节点发送加入信息,请求加入该簇。每一个节点都选择了自己的簇头之后,本轮的簇形成。

系统除了定义轮(Round)的概念,决定每一轮的持续时间,还引入了帧(Frame)和槽(Slot)的概念。轮、帧、槽的关系是这样的:

$$\text{Round} = n * \text{Frame}$$

$$\text{Frame} = m * \text{Slot}$$

其中 n 表示一轮中每个节点可以进行数据发送的次数,Slot 表示每一个簇中节点的个数。具体可以这样简单描述,在当前轮长度时间内,当前簇内的 m 个节点,都可以进行 n 次数据发送。具体每一个节点每次可以用来进行数据发送的时长度为一个 Slot。

簇头节点根据收到的请求加入信息,决定自己的簇内成员,向自己的簇内成员发送调度信息。簇内节点只能在自己的时间槽(Slot)内发送数据,在其它时间进入睡眠。

2.3 簇间转发路径发现

根据簇头相对于 Sink 节点的位置,把节点可以分为两大类。第一类是 Sink 节点在自己的单跳通信范围之内,第二类是 Sink 节点不在自己的单跳通信之内。对于第一类簇头节点只需要把簇内信息进行融合后直接发给 Sink 节点,第二类节点除了进行数据融合,还需要通过中间簇头节点进行数据转发,这就引入了簇间通信^[8]的问题。

如果将簇头节点和 Sink 节点组成的网络抽象为一个带权图,那么簇间通信问题可以抽象为一个求节点到 Sink 节点的最小带权路径长度问题。传统的以 Dijkstra 的为代表的最短路径算法需要知道全部顶点信息,而无线传感器节点存储空间有限,只能存储局部拓扑信息,另外 Dijkstra 等算法对于传感器节点来

说算法复杂度也太高,不适合在传感器中使用。文中提出一个简化的、基于局部拓扑信息的最短路径算法。

由于数据转发的能量消耗和传输路径长度成多次方的关系,这样传输路径的选择抽象为距离判断问题。节点总是选取通信距离最短的路径。当然,由于节点只有局部的簇头信息,这里选取的也是局部最优的路径。

由于节点的通信能量消耗和通信距离的 n 次方成正比,我们总是希望选择距离目标 Sink 节点最近的簇头节点作为下一跳节点。不失一般性,假定有 3 个簇头节点 A, B, C。B, C 为 A 节点的邻居簇头节点。3 个簇头节点的通信半径都是 r , A, B, C 相互都在自己的通信半径之内,只有 B 节点可以直接和 Sink 节点进行通信。A, B, C 的位置关系如图 1 所示。

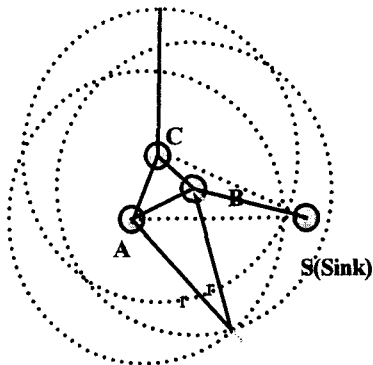


图 1 簇头和 Sink 节点的位置关系

假定簇头 A 需要向 Sink 节点 S 发送一条数据 M, 由于 Sink 节点不在其通信范围之内, 它需要利用其邻居簇头节点 C, B 进行数据转发。数据传输的路径有三种可能:

- 1) $A \rightarrow B \rightarrow \text{Sink}$
- 2) $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow \text{Sink}$
- 3) $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \text{Sink}$

那么前两条路径的能量消耗可以分别表示为:

$$\text{Cost1} = |AB| + |BS|$$

$$\text{Cost2} = |AC| + |CS|$$

节点只需要选取 Cost 值最小的节点作为下一跳转发路径。也就是节点在自己的邻居簇头表中找到的距离 Sink 节点最短的传输路径。

现在考察第 3 条路径, 当数据从 A 传送到 B 时, B 发现 Sink 节点在自己的通信范围之内, 直接把数据发送到 Sink 节点。所以, 本质上讲第 3 条路径和第一条路径是同一条路径。这里涉及到在 Sink 节点周边的数据转发路径的选择的策略问题, 是继续通过最短路径选择还是直接发送数据到网关节点。采用在 Sink 节点一跳范围间的数据不再通过中间节点转发, 直接发送到 Sink 节点的策略。这样做的好处是避免在

Sink 节点周边产生热区, 使这些节点能理消耗过快, 产生路由空洞^[9]和监测盲区。

2.4 边界节点的路由发现

边界节点的路由发现考察一个特殊问题, 即一个簇头节点当接到邻居节点数据时又把数据发回源簇头节点, 产生路由回路问题。

图 2 的示例中, A, E, D 都是 C 的邻居簇头节点, 当 C 需要发送数据时, 根据算法, D 的通信代价最小, 就把 D 作为下一跳节点, D 收到数据后, 发现自己只有一个邻居节点 C 且 Sink 节点不在自己的通信半径之内, 又把数据发送给了 C。这样便产生了 CD 两个节点之间的回环。

对于两点之间的回环问题, 通过向父亲节点报告下一跳节点来解决。首先簇头节点 C 把节点 D 作为下一跳节点, D 把 C 作为自己的下一跳节点。当 D 收到来自 C 的数据后, 发现源节点是自己的下一跳节点, 向 C 报告, C 发现自己的下一跳节点的下一跳节点是自身的话, 便不使用当前下一跳节点。并且, D 节点也不把信包发送回给源节点 A, 称之为路由环路的水平分割。

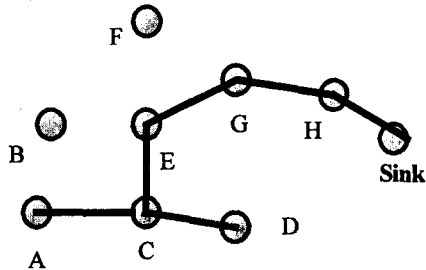


图 2 两点之间路由回路问题

2.5 节点的动态加入和删除

新加入节点的只需要发送一个 Hello 信息就可以获取周围邻居节点的位置信息和 Sink 节点的信息, 在下一轮开始后就可以自动加入到网络中去。

对于失效节点要从网络中进行删除, 避免出现路由空洞和不必要的数据转发。如果删除节点不是簇头节点, 则整个网络不受任何影响。只是在该节点的 Slot 内没有数据发送。但是如果移除的节点是簇头节点, 则整个簇内的监测数据在当前轮内将无法发送, 网络路由也将发生改变。但是影响都局限在一轮时间之间, 不会对整个网络通信产生根本性的破坏。

3 协议仿真

3.1 仿真环境设置

网络仿真是使用计算机技术构造网络拓扑、实现网络协议的模拟网络行为^[10], 为网络研究提供了一个方便、高效的分析和验证的方法。为了对算法扩展性、

能耗、生存期等指标进行考察,在 OMNET++ 平台上对算法进行了仿真。仿真网络的是由 100 个节点随机分布在大小为 600 米×500 米的平面空间组成。Sink 节点部署在网络的边缘。

在 LEACH 协议中,因为节点可能与其它所有节点通信,所以通信半径必须大于区域的对角线长度才能对整个网络进行覆盖,因此,设定节点的通信半径为 750 米,簇头的生成概率为 5%。而在 MSRP 协议中节点只需要与邻居节点进行通信,设定节点的通信半径为 100 米。为了尽量避免产生路由空洞,设定簇头的生成概率为 20%。

3.2 仿真结果与分析

3.2.1 网络拓扑对比分析

从两种协议下的网络拓扑结构可以观察到 MSRP 网络拓扑结构图有较少的通信链路。这是由于在 LEACH 协议下每个节点都要与其它节点通信,都有一条通信链路,链路条数为 C_n^2 , n 为网络中包含 Sink 节点在内的所有节点的数量。

而在 MSRP 协议中,节点只需要与邻居节点通信,链路条数为:

$$\left[\frac{n}{\Delta_s} * \pi r^2 * n \right] * \left(\left[\frac{n}{\Delta_s} * \pi r^2 * n \right] - 1 \right)$$

n 为网络中包含 Sink 节点在内的所有节点的数量, Δ_s 为区域的面积, r 为节点的广播半径。在本实验中 LEACH 共有 10100 条通信链路。而在 MSRP 中共有 811 条通信链路。MSRP 剔除了 92% 的长距离通信链路。

3.2.2 实验结果数据对比分析

在同一网络环境中,分别运行 LEACH 和 MSRP 协议。在工作了 100 轮以后,对能耗、对簇头数、死亡节点数以及用于通信协调的控制信包数量等数据进行了统计。

结果如图 3 所示。

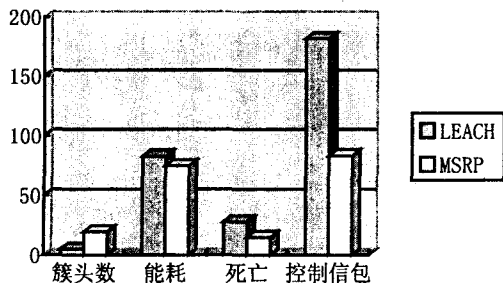


图 3 实验结果对比

从图 3 可以看出,MSRP 与传统的 LEACH 协议相比,有较低的能耗。运行 100 轮以后,使用 MSRP 协议的网络可以工作的节点比例提高了 8 个百分点。但是

MSRP 协议为了节能,选择了较小的通信半径,会产生较多的簇头,而 LEACH 协议却只需要 MSRP 协议 25% 的簇头数。

4 结束语

为了提高簇类协议的扩展性,文中提出了一个分布式、簇间多跳的无线传感器分层路由协议 MSRP。该协议算法复杂度小,只需要很小的辅助存储空间,适合传感器节点计算能力较弱、存储空间小的特点。

但是由于簇头选取的随机性,有可能在某一轮产生路由空洞。下一步将重点研究提高 MSRP 协议的健壮性。

参考文献:

- [1] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy - Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//In: Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000:3005 - 3014.
- [2] 毕俊蕾,任新会,郭拯危.无线传感器网络路由协议分类研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):131 - 137.
- [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] Ibrqi J, Mahgoub I. Cluster - Based routing in wireless sensor networks: Issues and challenges[C]//In: Proc. of the 2004 Int'l Symp. on Performance Evaluation of Computer Telecommunication Systems. San Jose: [s. n.], 2004: 759 - 766.
- [5] Mhatre V P, Rosenberg C. Homogeneous vs Heterogeneous Clustered Sensor Networks: A Comparative Study[C]//In: IEEE International Conference on Communications (ICC 2004). West Lafayette: School of Electrical and Computer Eng., Purdue University, 2004: 3646 - 3651.
- [6] Yuan Y, Chen M, Kwon T. A Novel Cluster - Based Cooperative MIMO Scheme for Multi - Hop Wireless Sensor Networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2006(2): 1 - 9.
- [7] Estrin E. Wireless Sensor Networks Tutorial Part IV: Sensor - Network Protocols[M]. Westin Peachtree Plaza, Atlanta, Georgia, USA: [s. n.], 2002: 23 - 28.
- [8] 于继明,卢先领,杨余旺,等.无线传感器网络多路径路由协议研究进展[J].计算机应用研究,2007,24(6): 1 - 3.
- [9] 宋超,刘明,龚海刚,等.基于蚁群优化解决传感器网络中的能量洞问题[J].软件学报,2009,20(10): 2729 - 2743.
- [10] 刘俊,徐昌彪,隆克平.基于 NS 的网络仿真探讨[J].计算机应用研究,2002(9): 54 - 57.