

一种高节能多跳分层路由协议

High Energy-efficient Multi-hop Hierarchical Routing Protocol

冯芳 程良伦

(广东工业大学自动化学院,广东 广州 510006)

摘要: 针对无线传感器网络节点存在电池能量有限和通信过程中能量消耗大等缺点,为最大限度地延长无线传感器网络的寿命,解决节点能耗分布不均匀的问题,提出了一种高节能多跳分层路由 HE-EMHR 协议。协议分别根据节点的能源决策和新的权函数来选择簇头和簇头的下一跳,并引进一种新因子确定候选节点。试验证明了该协议的有效性,表明此协议能保证网络具有更强的生存能力和更长的生命周期。

关键词: 无线传感器网络 拓扑结构 路由协议 数据传输 权函数

中图分类号: TP393.1

文献标志码: A

Abstract: Aiming at the features of limited battery energy in nodes of wireless sensor network (WSN) and large amount of energy consumption in communication process, in order to maximize the lifetime of the network, and solve the issue of uneven distribution of the node energy consumption, the high energy-efficient multi-hop hierarchical routing (HE-EMHR) protocol is proposed for reducing energy consumption. The protocol selects the cluster head according to the energy strategy and the next hop based on the weight function; and introduces a new factor for selecting candidate node. The experiment proves the effectiveness of this protocol and indicates that the protocol is able to guarantee the network offering stronger survival time and longer life period.

Keywords: Wireless sensor network (WSN) Topological structure Routing protocol Data transmission Weight function

0 引言

无线传感器网络 WSN (wireless sensor network) 是一种新的网络范式,它主要应用于工厂监测与控制、救灾、军事遥感和智能住宅控制等领域^[1]。节能是 WSN 路由协议中最重要的性能指标^[2]。

集群 WSN 即 CWSN (cluster-based in wireless sensor network) 采用的是基于集群路由协议 CRP (cluster-based in routing protocol),这不但减少了冗余信息,还降低了节点的能耗。鉴于 CRP 的优势,人们提出了许多基于 CRP 的协议,如 LEACH (low-energy adaptive clustering hierarchy)、TEEN (threshold sensitive energy efficient sensor network)、APTEEN (adaptive periodic threshold sensitive energy efficient sensor network)、GAF (geographical adaptive fidelity) 和 HEED (hybrid energy-efficient distributed clustering) 等^[3-7]。然而,这些协议没有综合考虑到集群、重复集群和最优路径,有些则只考虑到最优路径和高效率的能源意识。由此,提出了

一种高节能多跳分层路由协议 HE-EMHR (high energy-efficient multi-hop hierarchical routing protocol)。HE-EMHR 采用权函数决定当前簇头的下一跳簇头,同时采用一个新因子选择候选节点和发送簇内信息。该协议能大大节约和平衡簇头的通信能耗,从而延长网络寿命。

1 EMHR 协议

EMHR 路由协议拓扑结构如图 1 所示。

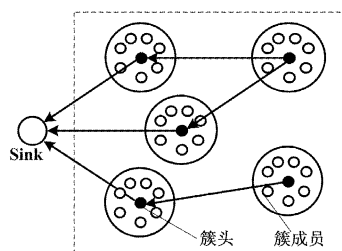


图 1 EMHR 拓扑结构

Fig. 1 Topological structure of EMHR

节能多跳分层路由协议 EMHR (energy-efficient multi-hop hierarchical routing protocol) 是分层路由协议的另一种比较先进的改进协议^[8],建簇过程与 LEACH 类似,即根据簇头的能量策略,选择有最多剩余能量的

国家自然科学基金资助项目(编号:60673132)。

修改稿收到日期:2010-03-29。

第一作者冯芳,女,1985年生,现为广东工业大学控制理论与控制过程专业在读硕士研究生;主要从事射频识别技术、传感器网络、工业控制网络等方面的研究。

节点作为簇头,这样能有效避免低能量节点成为簇头。在数据传输中,簇头中的数据采用多跳传输,同时根据权函数来决定下一跳簇头。因此,EMHR 在均衡簇头能耗方面具有很好的性能。

EMHR 路由协议的核心是利用权函数选择下一跳簇头的节能算法。该算法的关键是以节省全部能耗作为基本原则,主要过程以节点的剩余能量和基站 (Sink) 与邻居节点之间的距离作为依据。

根据簇头和邻居簇头之间的距离以及无线信道模型^[9],能耗的总能量 E_T 计算如下:

$$E_T = E_{Tx}(i) + E_{Rx}(j) + E_{Tx}(j) = kE_{elec} + k\varepsilon_{mp}d^2(i,j) + kE_{elec} + kE_{elec} + k\varepsilon_{mp}d^2(j,S) = 3kE_{elec} + k\varepsilon_{mp}d[d^2(i,j) + d^2(j,S)] \quad (1)$$

式中: $E_{Tx}(i)$ 为簇头 i 传输信息消耗的能量; $E_{Rx}(j)$ 为簇头 j 接收信息消耗的能量; $E_{Tx}(j)$ 为簇头 j 传输信息消耗的能量; E_{elec} 为每位自身消耗的电能量; ε_{mp} 为多路径下单元位传输单位面积后所消耗的能量; $d(i,j)$ 为簇头节点 i 和邻居簇头节点 j 之间的距离; $d(j,S)$ 为邻居簇头 j 与 Sink 节点之间的距离。由于 E_{elec} 和 ε_{mp} 在无线传感器网络运行时为固定值, k 为当前轮发送到 Sink 的数据总量(周期性网络中 k 值较稳定,本算法中根据网络存活节点数估算 k 值),所以, E_T 主要与表达式 $[d^2(i,j) + d^2(j,S)]$ 有关。

考虑式(1)和簇头能量的影响,新权函数为:

$$F(i,j) = S(i)_E / S(i)_{max} + [d^2(i,j) + d^2(j,S)] / d^2(i,S) \quad (2)$$

式中: $S(i)_E$ 为簇头 i 的剩余能量; $S(i)_{max}$ 为簇头 i 的初始能量; $d(i,S)$ 为邻居簇头 i 与 Sink 节点之间的距离。这种方法可减少簇头能耗的不平衡性。EMHR 通过比较成员节点中的能量来选择有最多剩余能量的节点,这个被选择的节点即为簇头,此决策可保证成员节点能量分布均匀。在数据传输中,簇头间的数据采用多跳传输,并根据权函数决定下一跳簇头的方案,这样就可以平衡网络拓扑的负载,减少簇头的能耗。结果证明,此协议的算法简易可行,且在 WSN 的网络应用中能达到很好的性能。

2 HE-EMHR 协议

簇头间数据的多跳传输确实可以减少簇头的能耗,但在实际应用中,簇头间的数据传输因距离原因还是会消耗很多能量,即便重新建簇,网络的寿命还是达不到较理想的效果;且中继簇头在转发过程中仅仅是简单地转发来自其他簇头的数据,簇头则因冗余的数据而消耗不必要的能量;同时,在许多实际应用中都希望

Sink 是可以移动的,这样就需要具有能源意识和扩展特性的路由协议。如在军事应用中,移动目标比固定目标更可靠,网络寿命肯定会因合适且移动的 Sink 而延长。基于此,提出了一种高节能多跳分层路由协议 HE-EMHR 来解决这些问题。

HE-EMHR 路由协议是对 EMHR 路由协议的改进,即在各簇中采用一个新的因子来选择一个候选节点,目的是融合、压缩和转发簇头的信息给下一跳簇头节点。HE-EMHR 拓扑结构如图 2 所示。

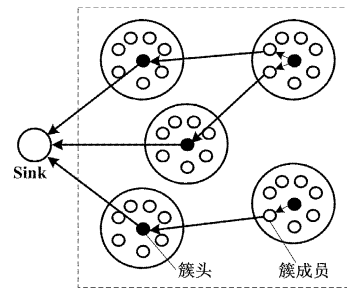


图 2 HE-EMHR 拓扑结构

Fig. 2 Topological structure of HE-EMHR

在 HE-EMHR 路由协议中,将无线传感器网络的寿命细分为多个回合,每一回合又分为簇的建立和传输数据的稳定两个阶段。

2.1 簇的建立阶段

在簇的建立阶段,我们采用和 EMHR 路由协议相同的算法。建簇过程完成后,簇头创建 TDMA 表,并将它连同下一跳簇头的 ID 一起发送给成员节点。

成员节点在接收到表信息后,每一个非簇头节点依据此表计算到下一跳簇头的距离。由于所有的成员节点都已经接收到下一跳簇头的广播信息,所以它们能够计算到下一跳簇头的距离。然后,非簇头节点在接收表后就进入睡眠状态并等待它们的顺序。

2.2 簇的稳定阶段

在传输数据的稳定阶段,为了节约和均衡簇首通信能耗,HE-EMHR 路由协议中根据新因子选择候选节点的策略是假定使用的无线电模型与 EMHR 一致^[9]。间距为 d 、传输 l 位数据所消耗的能量 $E_T(l,d)$ 为:

$$E_{Tx_elec}(l) + E_{Tx_amp}(l,d) = \begin{cases} l(E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^2) & d < d_0 \\ l(E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^4) & d \geq d_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$d_0 = \sqrt{\varepsilon_{fs} / \varepsilon_{mp}} \quad (4)$$

式中: $E_{Tx_elec}(l)$ 为无线电能耗; $E_{Tx_amp}(l,d)$ 为放大无线电能耗; ε_{fs} 为自由空间模型下单元位传输单位面积后所消耗的能量。如果 $d < d_0$,采用自由空间(fs)模型;

否则,就采用多路径(mp)模型。 E_{elec} 和 ϵ_{mp} 、 ϵ_{fs} 在无线传感器网络运行时为固定值。

节点接收 l 位数据消耗的能量如式(5)所示。

$$E_R(l) = lE_{elec} \quad (5)$$

HE-EMHR是无位置意识的分布式算法,它是基于随机数字的。新的因子 $E_fact(n)$ 即为每一个节点发送给节点 n 的位数,如式(6)所示。

$$E_fact(n) = CurrentEnergy/E_T(l, dist_to(n)) \quad (6)$$

式中: $CurrentEnergy$ 为节点的剩余能量; $E_T(l, dist_to(n))$ 为发送 l 位数据给节点 n 所需要的能量。所以能量因子取决于节点的剩余能量和它们到目的地的距离。

假设每一个节点都具有随意监听信息的功能,当节点在 d 范围内发送信息时,距离较小的节点将会监听到此信息。我们利用这个事件创建集群层次,但没有额外的信息。同时,假设基站Sink通过广播位置信息不断通知其位置,所有节点都能根据接收到的能量计算到基站Sink的距离。根据这个策略,Sink便可以移动。

成员节点在特别的时间点被唤醒并通过传输代码任务把数据和 E_fact 发送给簇头^[10],然后再度进入睡眠状态并等待下一个任务。簇头把数据和 E_fact 存储在表中。簇头接收完数据后,选择有最多 E_fact 的节点作为候选节点。如果候选节点的 E_fact 低于该簇头的 E_fact ,则直接把数据发送给下一跳簇头,否则发送给候选节点。候选节点接收完数据后,再对数据进行融合和压缩,最后发送给下一跳簇头。这不仅均衡了簇头传输路径上的能量负载,还增强了协议的可扩展性,具有更强的网络生存能力和更长的生命周期。

3 仿真与实验分析

我们使用Matlab仿真LEACH、EMHR和HE-EMHR,主要参数的设定与文献[8]相似,如表1所示。

表1 仿真参数

Tab.1 Simulation parameters

参数	取值
Sink位置	(50,50)m
节点总数	300个
节点初始能量	0.05 J
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/(bit·m ²)
ϵ_{mp}	0.001 3 pJ/(bit·m ⁴)
d_0	87 m
数据汇总的能量	5 Nj/bit
数据包大小	200 bits

为了证实HE-EMHR协议的性能,我们对LEACH、EMHR和HE-EMHR进行了比较,以网络的寿

命作为性能评估的重要参数。在网络区域大小分别为200 m×100 m和400 m×200 m时,观察网络存活节点数随时间变化的情况,存活时间曲线如图3所示。

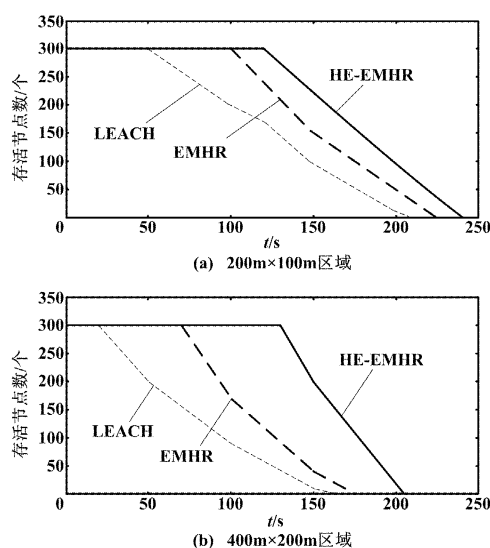


图3 存活时间曲线

Fig.3 Curves of survival time

从图3可以看出:不论是第一个节点、50%的节点,还是100%节点死亡,HE-EMHR协议的性能都明显优于LEACH和EMHR。在400 m×200 m的网络中,当第一个节点死亡时,HE-EMHR性能超过EMHR约190%,超过LEACH约700%。试验结果表明,网络规模越大,性能比越明显。这是因为LEACH协议中簇头采用单跳的方式直接把数据发送给Sink,在数据传输中簇头要消耗大量的能量,导致网络过早死亡;而EMHR和HE-EMHR协议中簇头采用多跳的方式进行数据传输,并根据权函数决定下一跳簇头,在网络寿命和均衡簇头能耗方面都具有很好的性能,特别是HE-EMHR协议在EMHR协议的基础上进行了改进,更能平衡簇头负载,减少簇头的能耗。因此,HE-EMHR协议大大延长了无线传感器网络的寿命。

4 结束语

本文首先分析了EMHR路由协议,然后在其基础上进行改进,提出了HE-EMHR路由协议。HE-EMHR协议不但保留了EMHR协议的节能特性,在基站Sink移动的同时还加入了一个新的因子来选择簇的候选节点。候选节点接收完数据后,再对数据进行融合和压缩,最后发送给下一跳簇头,这大大降低了簇头的能耗,均衡了簇头的通信能耗,延长了网络的寿命。实验结果也表明,HE-EMHR协议的生命周期要远远大于

(下转第14页)

全性。通常情况下,主机的安全性是可以确定的,但并非绝对确定。

② 记录 Wrapper 运行日志,Wrapper 对和主机系统的每一次交互都进行记录,并将保存的记录及时发送给 Mediator;对于已遭受攻击的 Wrapper,由于它的交互记录被保存,当主机使用类似的手段攻击 Wrapper 时,就会采取相应的手段加以防范。

③ 对 Wrapper 中关键数据和算法进行加密,当系统中的关键数据和算法需要进行加密时,可以采用 CEF(cisco express forwarding)的方法进行加密^[12]。当前 CEF 没有通用的解决方案,但是对于多项式和有理函数是完全可行的。可以储存一个利用加密的有理函数计算过的密钥进行加密,对需要保密的函数代码也可以用相关的方法加密。

4 结束语

安全问题是分布式环境下信息集成的重要问题。为了有效维护信息集成系统的安全,本文提出了一系列技术,从授权机制、通信安全保障和 Wrapper 安全性三个方面保证分布式信息集成系统的安全性。我们的安全性策略适用于分布式环境下多数据源的集成,对于分布式环境下信息集成系统稳定、高效的应用有着重大的意义和价值。

参考文献

[1] Hasselbring W. Information system integration[J]. Communication of the ACM,2000,43(6):33-38.

[2] Garcia-Molina H, Ullman J D, Widom J. Database system implementation[M]. USA:Prentice Hall,2000:254-272.

[3] Wirderhold G. Mediators in the architecture of future information systems[J]. Computer,1992,25(3):38-49.

[4] Candan K S, Jajodia S, Subrahmanian V S. Secure mediated databases[C]// Proceedings of the Twelfth International Conference on Data Engineering, IEEE Computer Society, Washington DC, USA, 1996:28-37.

[5] Bray T, Paoli J, Sperberg-McQueen C M. Extensible markup language(XML)1.0[S]. 1998.

[6] Stalling W. 密码编码学与网络安全:原理与实践[M]. 杨明,译. 北京:电子工业出版社,2001:351-357.

[7] Schneier B. Applied cryptography:protocols, algorithms and source code in C[M]. USA:Jon Wiley & Sons, Inc,1996:412-418.

[8] Kudo M, Hada S. XML document security based on provisional authorization[C]//Proceedings of the 7th ACM Conference on Computer and Communications Security, New York, NY, USA, 2000:87-96.

[9] Ertaul L, Panda J. Mobile agent security[C]//Proceedings of the 2006 International Conference on Security & Management, Las Vegas, USA,2006:172-178.

[10] Chu Y H, Feigenbaum J, LaMacchia B, et al. Referee:trust management for Web applications[J]. Computer Networks and ISDN Systems,1997,29(8-13):953-964.

[11] 刘建勋,李仁发,张申生. 移动 Agent 的安全性问题探讨[J]. 小型微型计算机系统,2000,21(12):1316-1319.

[12] Sander T, Tschudin C. Protecting mobile agents against malicious hosts[C]// Proceedings of Mobile Agents and Security, Springer-Verlag, London, UK,1997:44-60.

(上接第 11 页)

EMHR 协议和 LEACH 协议,并能进行扩展而应用于不同规模的网络。

参考文献

[1] Akyildiz F I, Su W, Sankarabramanian Y, et al. Wireless sensor networks:a survey[J]. Computer Networks,2002,38(4):393-422.

[2] Ilyas M, Mahgoub I. Handbook of sensor networks:compact wireless and wired sensing systems[M]. CRC Press:New York,2005:13-18.

[3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI,2000:1-10.

[4] Manjeshwar A, Agarwal D P. TEEN:A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[C]// International Parallel and Distributed Processing Symposium IPDPS 2001, San Francisco, California, USA,2001:2009-2015.

[5] Manjeshwar A, Agrawal D P. APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor

networks[C]//International Parallel and Distributed Processing Symposium:IPDPS 2002, Fort Lauderdale, Florida,2002:195-202.

[6] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography informed energy conservation for Ad hoc routing[C]//Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy,2001:70-84.

[7] Younis O, 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] Huang Wenwen, Peng Yali, Wen Jian, et al. An energy-efficient multi-hop hierarchical routing protocol for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, Washington DC, USA,2009:469-472.

[9] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application specific protocol architecture for wireless micro-sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2002,1(4):660-670.

[10] Hu Limin. Distributed code assignment for CDMA packet radio networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993(6):668-677.