

WSN 路由协议在煤矿安全应用的改进^①

范 雪, 秦宁宁, 孙顺远, 徐保国

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

摘 要: 针对矿井中安全监测系统的能量有限性等一系列问题导致井下事故频发的状况, 重新选择无线监控系统及协议并不断改进完善, 在传统的 SPIN 路由协议基础上, 提出了一种可靠节能的路由协议——SPIN-RE (SPIN-Reliable and Energy efficient), 来提高无线传感器网络中节点的能量使用效率, 延长网络生存期。即增加了能量阈值, 并且在 REQ 消息中加入了记忆列表, 以保证数据传输中单个节点与整个网络能量的均衡消耗, 来延长网络的生命周期。仿真实验表明, 与 SPIN 路由协议相比, 该路由协议在节省能量方面有很大提高。

关键词: 无线传感器网络; 瓦斯监测; SPIN-RE

Improvement of the Routing Protocol for Coal Mine Safety in WSN

FAN Xue, QIN Ning-Ning, SUN Shun-Yuan, XU Bao-Guo

(Internet of Things, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Considering that many issues such as the limited energy in mine safety monitoring system, the accidents take place frequently. We select a new kind of wireless monitoring system and protocol, and improve it constantly. We propose a reliable and energy efficient routing protocol——SPIN-RE (SPIN-Reliable and Energy efficient) based on SPIN, so as to improve the single node energy efficiency and extend the network lifetime. It does not only increase the energy threshold but also the memory in the REQ message list to balance the energy consumption on data transmission across the single node and the network to extend the network lifetime. Simulating and comparing to the SPIN-RE and SPIN routing protocol, the results present that the SPIN-RE routing protocol improves greatly on the saving energy.

Key words: wireless sensor network; gas monitor; SPIN-RE

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由大量传感器节点组成的一种特殊的网络。随着近年来应用需求的增加, 其网络协议也在不断改进完善, 以适应更多应用领域。

近年来, 随着对煤矿需求的不断增加, 矿井的挖掘的深度与覆盖面积也不断的增加, 随之而来的安全隐患也越来越突出。据统计, 2010 年, 中国发生煤矿事故 1403 起、死亡 2433 人。因此, 对煤矿灾害事故的预警十分必要。目前, 煤矿应用的报警系统一般是有线网络, 不可能在巷道结构比较复杂且深的矿井中全面铺设, 那么选择一种安全高效且生命周期长的无线监控网络具有重要意义。

本文对无线监控网络中的 SPIN 路由协议进行了改进, 提出了 SPIN-RE (SPIN-Reliable and Energy efficient) 路由协议算法。首先在传统的 SPIN 协议基础上加入了能量阈值与距离阈值, 即在所有节点工作前, 将所有节点排序标号, 并且所有节点的序列号互不相同, 在 REQ 的消息中增加一个字段来存放当前的剩余能量值, 在 ADV 消息中增加一个字段来存放消息到达前所经过的节点序列号。并对 SPIN-RE 与 SPIN 协议进行了比较分析, 结果表明: SPIN-RE 降低了能量消耗, 提高能源利用率, 延长网络生命周期。

1 SPIN 路由协议概述

SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

^① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2006AA10Z335, 2007AA10Z241)

收稿时间: 2011-05-06; 收到修改稿时间: 2011-06-05

协议是以数据为中心、自适应通信的路由协议。是针对理想的、没有数据包丢失网络设计的。但实际应用中，网络拓扑的复杂性、能量等因素的限制使得 SPIN 协议在使用上有极大的限制，主要集中在以下两点：①“路由选择盲点”，指节点接收数据后，不知道要将数据发送给哪个节点，其导致的结果往往是源节点先将数据发送给所有的邻居节点，并以这种方式继续向下一跳发送数据，导致数据重叠，不必要的能量消耗过大，网络生命周期被缩短；②“数据发送盲点”，指靠近源节点的邻居节点在交换数据时，频繁的工作，能量过早耗尽，而一些较远的节点因为工作量小，生命周期很久，导致网络能量消耗不均。

SPIN 路由协议包含 3 种数据消息：ADV、REQ 和 DATA^[5]。ADV 消息用于广播新数据，即对外广播有节点需要传输；REQ 消息用于请求发送新数据，表明此节点希望接收新数据；DATA 则将数据传输到发送 REQ 消息的节点上。

SPIN 协议有四种形式，即 SPIN-PP、SPIN-EC、SPIN-BC、SPIN-RL^[1]。其工作本着两种思想：实现高效操作与节能；节点间必须监视、自适应其自身能量资源的变化，使网络的生命周期得以延长。

SPIN 协议具有资源认知和资源自适应能力，能够知道自己的剩余能量并计算其自身的能量开销，这将有利于实现 WSN 资源的高效利用。

2 SPIN-RE路由协议设计与分析

2.1 SPIN-RE 路由协议设计的基础

针对不同的应用,WSN 设计的目标与方法差别很大，不同的传感器网络对其使用的路由协议也有着不同的要求，即路由协议与其使用的环境是紧密相联的。SPIN 路由协议的应用环境为无损理想环境，即发送的数据不丢失。现实应用中，WSN 往往工作在极其恶劣的环境中，易受外界破坏，数据丢失必然发生。本文将针对有损环境模型下，设计可靠节能的路由协议 SPIN-RE。

2.2 SPIN-RE 路由协议规则

我们假设数据从源节点开始传输到某一中继节点 Q，节点 Q 又将数据传输到节点 R，随后节点 R 继续选择下一跳节点传输的过程中，利用改进的 SPIN-RE 协议进行描述，传输过程如图 1 所示。

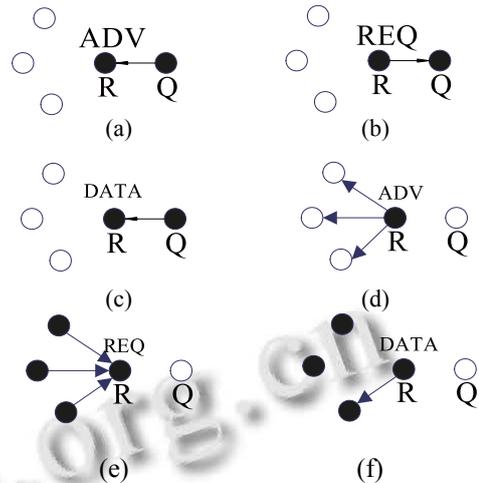


图 1 SPIN-RE 路由协议工作模型

① 节点 Q 向节点 R 发送新的数据时，先发送 ADV 消息，以确定数据是否在能到达的范围内；ADV 消息中包含了数据到达之前所经过的节点的序列号，并且存储在 ADV 消息列表中，提供给下一个节点利用分析。

② 当节点 R 收到节点 Q 发送的 ADV 消息后，对其进行分析：首先确定该节点对这个数据是否感兴趣或是否已经收到过此数据，如果不感兴趣或已经收到过此数据，则不向节点 Q 转发 REQ 消息，随之，节点 R 进入休眠状态，其邻居节点将作为数据的下一跳节点；否则，节点 R 会将其目前的剩余的能量值以 REQ 消息的形式转发给节点 Q。如果 REQ 消息在传输过程中丢失而导致节点 Q 没有收到 REQ 消息，则节点 Q 重新发送 ADV 消息。

③ 当节点 Q 收到 REQ 消息后，与前一跳节点发送过来的 ADV 消息进行融合处理，选择 REQ 消息中节点能量最大，并且除掉 ADV 消息中已经包含序号的节点作为下一跳节点；数据包在发送过程中可能发生丢失，且节点 R 一定时间内没有收到 DATA 消息时，将采取重传机制，重新向节点 R 发送数据包，直到 DATA 数据传送到节点 R 为止。此时，节点 R 向 Q 发送确认消息，通知节点 Q 数据被成功接收。此时，完成了数据成功一跳传输的过程。

④ 当节点 R 在准备选择下一跳节点继续传输数据时，有多个节点可供其选择，在选择过程中有以下问题要处理：首先，节点 R 向位于传输范围内的所有节点都发送 ADV 消息，接收到 ADV 消息的所有节点

将其所剩的能量存入 REQ 消息中, 再返回节点 R; 随后, 节点 R 对收到的 REQ 消息进行解析, 对所有收到的节点的剩余能量进行比较, 选出能量最大的节点作为下一跳节点, 在确定完下一跳节点后, 重复①、②、③的过程, 直到数据传到目的节点为止。

2.3 SPIN-RE 路由协议关键

(1) 能量阈值

如何正确选择合适的下一跳节点且保证数据在整个传输的过程中总是选择能量最大的节点, 本文在 SPIN 路由协议的基础上设计增加了能量阈值。SPIN-RE 路由协议对 REQ 消息中的剩余能量进行比较, 选择能量最大值的节点作为下一跳节点, 若同时存在几个节点的剩余能量值最大且相同, 则随机选择一个节点, 这样均衡了全网的能量消耗, 能尽最大可能地延长网络的工作时间。由于路由协议不但要考虑单个节点的能量消耗, 还要考虑整个 WSN 的能量消耗, 只有当所有节点的能量均衡地减少时, 才能有效地延长网络的生命周期。而 ADV 有记忆功能, 这样就避免了在选择下一跳节点时, 可能会选择之前经过的节点, 从而形成路由环路。

(2) 拓扑更新

当节点能量低于能量阈值时被删除, 此时在被删节点及其邻居节点的拓扑结构发生改变, 但变化不大, 因此能量消耗不大。其克服策略为: 当节点能量低于能量阈值时, 将此节点从排好的序列号中删除, 剩余的节点组成新的拓扑结构, 被删除的节点与邻居节点拓扑改变, SPIN-RE 协议依然可以正常工作。

3 仿真

3.1 仿真分析

为验证 SPIN-RE 路由协议的性能, 利用 Matlab7.1 对 SPIN-RE 协议与 SPIN 协议在能量消耗等方面进行仿真对比。本仿真实验模型是, 在长 100m、宽 4m 左右的井下巷道内, 将 25 个结点随机布撒在巷道的同一水平高度上, 在巷道两端先选择好源节点和目的节点; 每一个节点的发射覆盖半径大约为 5-10m, 节点无线传输的发射功率为 600mW, 接收功率为 200mW, 总储存能量为 3J; 随着时间的推移, 节点能量在下降, 当节点能量低于能量阈值时, 节点已失去发送整个数据包的能力, 但此时节点还是有发送 ADV 消息的能力, 如果此时节点发送的 ADV 消息被下一节点接收,

发送 REQ 消息请求接收数据, 则发送的 REQ 消息是浪费能量的; 我们将此节点从拓扑结构中删掉, 剩余节点自组织成一个新的网络。下面就一些路由过程中经常遇到的问题在两种路由协议运算中进行比较。图 2 为传感器节点路由模型。

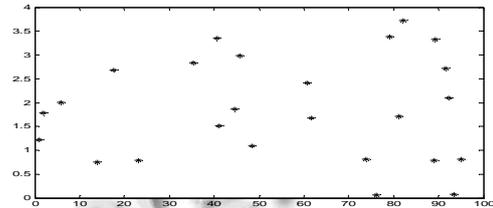


图 2 节点路由模型

3.2 仿真结果

(1) 路由协议的总数据量与时间的关系

在整个网络传输数据过程中, 数据从源节点多路由直到到达目的节点, 在这个过程中, 对两种路由协议中节点接收数据总量与时间的关系做了比较。通过图 3 可以看出, 随着时间的推移, 在 SPIN-RE 协议中的总数据量低于在 SPIN 协议中的总数据量, 主要由于 SPIN-RE 协议在发送数据时只选择一个邻居节点, 形成一条传输路径, 在这个过程中, 必然需要一定的时间来完成筛选下一跳节点与剔除不需要的节点的工作; 而 SPIN 协议是由多个邻居节点转发数据, 形成多条传输路径, 在这个过程中, 不需要时间来考虑选择哪个节点要工作, 哪个节点不工作。所以, 相同的数据到达目的节点时, SPIN-RE 协议使用的时间比 SPIN 协议使用的时间要久一些, 但延时的时间很少。而 SPIN 协议可能出现‘数据发送盲点’问题, 所以, 相同时间到达目的节点的总数据量就会减少。

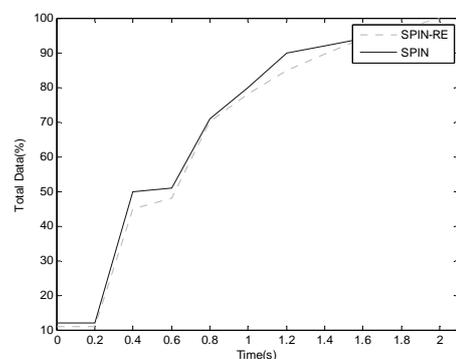


图 3 总数据量与时间关系

(2) 路由协议消耗的总能量与经历的时间的关系。

在整个数据传输过程中，当消息达到目的节点时，对两种协议在消耗的总能量与时间的关系上做了比较。通过图 4 可以看出，SPIN-RE 协议所消耗的总能量比 SPIN 协议所消耗的总能量要少大约 25%。主要由于 SPIN-RE 路由协议的传输路径只有一条，没有多余节点传输数据而造成的不必要的能量损失；而 SPIN 协议的数据传输路径有多条，能量不可避免地消耗了很多。

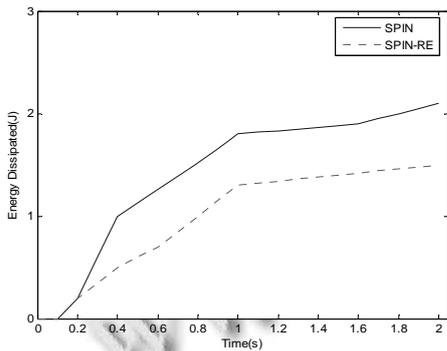


图 4 节点消耗总能量与时间关系

(3) 节点的平均能量消耗与其邻居节点个数的关系

每个节点周围都有若干个邻居节点，在数据传输过程中，中继节点的邻居节点个数与能量消耗也有密切的关系；当邻居节点的个数多时，虽然数据传输的可达性与准确性提高，但能量消耗也不可避免地提高了；并且当邻居节点个数一定时，中继节点向所有邻居节点发送消息与只向一个邻居节点发送消息所消耗的能量有很大区别。通过图 5 可以看出，随着时间的推移，SPIN-RE 协议中节点的总能耗低于 SPIN 协议中节点的总能耗，并且时间越久，SPIN-RE 协议越省能量。

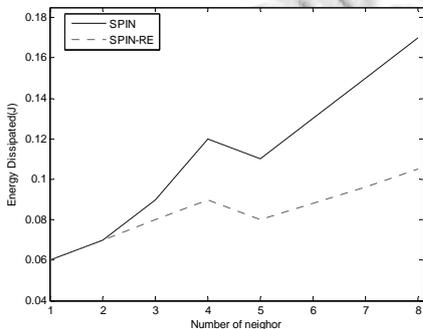


图 5 平均能量消耗与其邻居节点个数的关系

3.2 SPIN-RE 路由协议的优点:

从上面的仿真分析的比较中，我们可以看出：SPIN

协议在选择下一跳节点时存在盲目性，把数据发送到所有节点上，而 SPIN-RE 协议把数据发送给即时剩余能量值最大的节点，并且具有记忆功能，不会重复发送数据，均衡了节点的能量消耗，延长了网络生命周期。设置了能量阈值，当能量低于阈值时，将节点从网络中删掉，避免了消耗上一跳节点因发送 ADV 消息而造成的能量浪费。

4 结语

本文在 SPIN 路由协议基础上改进得到了 SPIN-RE 路由协议，并通过仿真证明其性能明显优于 SPIN 路由协议。SPIN-RE 协议中节点的平均能耗低于 SPIN 协议中节点的平均能耗。主要由于 SPIN 协议中源节点向所有邻居节点发送消息，而 SPIN-RE 协议只向其中一个邻居节点发送消息，故 SPIN-RE 协议更好地均衡了整个网络的能量消耗，使其消耗能量远远少于 SPIN 协议消耗的能量，从而延长了网络的生命周期。

参考文献

- 1 陈林星. 无线传感器网络技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- 2 Karl H, Willig A. 无线传感器网络协议体系结构. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 3 Goodman JI, Reuther AI, Martinez DR. Next Generation Technologies to Enable Sensor Networks. In: Mohammad Ilyas IM, eds. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems. CRC Press, 2004.
- 4 Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2002, 40:102-114.
- 5 Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey. Computer Networks, 2008, 52(12):2292-2330.
- 6 Elson J, Estrin D. Sensor Networks: A Bridge to the Physical World. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2004:3-20.
- 7 Akyildiz IF, Su W, Cayirci. A survey on sensor network. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- 8 Estrin D, Govindan R, Heidemann J S. Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks. ACM/IEEE Proc. of the Mobicom'99. New York: ACM Press,

(下转第 139 页)

表 2 四种预测模型预测效果

实际值	BP 网络预测		Elman 网络预测		PSO-ENN 网络预测		Pso-Bp 网络预测	
	预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差
4.01	4.1345	13.2%	5.0114	19.7%	4.1021	6.11%	4.0523	2.01%
4.22	4.1123	7.45%	5.0021	3.12%	4.1242	6.22%	4.8724	1.02%
8.01	8.2332	1.23%	8.011	0.22%	8.1112	1.23%	8.5034	4.11%
平均相对误差	7.29 %		6.01%		4.52 %		2.38%	

3 结论

采用粒子群神经网络算法对煤矿瓦斯灾害进行预测,建立了煤矿瓦斯灾害的预测模型。并利用粒子群算法优化隐含层神经元个数和网络中的连接权值,弥补了传统 Bp 神经网络算法在收敛速度慢、容易局部优化方面的不足,提高了预测效果。通过 MATLAB 仿真,证实了该方法的正确性和有效性。同时也说明从数据本身出发,利用粒子群 Bp 神经网络算法直接建立预测规则模型是一个很有效的方法,可以推广应用到其他领域。

参考文献

- 李林宜,李德仁.基于粒子群优化算法的航空影像纹理类.计算机工程,2008,34(3):196-198.
- 胡方明,简琴,张秀君.基于 BP 神经网络的车型分类器.西安电子科技大学学报.2005,32(3):439-441.
- 邵良杉,付贵祥.基于数据融合理论的煤矿瓦斯动态预测技术.煤炭学报,2008,33(5):551-555.
- 潘峰,陈杰,甘明刚,等.粒子群优化算法模型分析.自动化学报,2006,32(3):368-377.
- 王其军,程久龙.基于免疫神经网络模型的瓦斯浓度智能预测.煤炭学报,2008,33(6):665-669.
- 王峰,邢科义,徐小平.系统辨识的粒子群优化方法.西安交通大学学报,2009,43(2):116-119.
- 陈曦,蒋加伏.免疫粒子群优化算法求解旅行商问题.计算机与数字工程,2006,34(6):10-29.
- 李秀英,韩志刚.非线性系统辨识方法的新进展.自动化技术与应用,2004,23(10):5-7.
- Mirceakl OC. A neural predictive controller for non-linear systems. Mathematics and Computers in Simulation, 2002, 316-323.
- Lian JJ, Suganthan PN, et al. Novel composition test functions for numerical global optimization. IEEE Swarm Intelligence Symposium.
- (上接第 190 页)
1999:263-270.
- Pottie GJ, Kaiser WJ. Embedding the Internet: Wireless Integrated Network Sensors. Communication of the ACM, 2000,43(5):51-58.
- Henzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. Proc. of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS00). Island of Maui, Hawaii: IEEE Communication Society, 2000, 3005-3014.
- Manjeshwar A, Agrawal DP. TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks. Proc. of the 15th International Parallel and Distributed Symposium. San Francisco, CA, USA, 2001. 2009-2015.
- Lindsey S, Raghavendra C. Pegasus: Power-efficient gathering in sensor information systems. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2002,13(9):924-932.