

基于事件驱动的 QoS 异构传感器网络路由协议

万小霞¹, 田 明^{2,3}, 吴国民³

(1 盐城师范学院 信息学院, 盐城 江苏 224003; 2 南京航空航天大学计算机学院, 南京 江苏 21005;

3 盐城工学院 信息学院, 盐城 江苏 224051)

摘 要: 针对异构传感器网络中的突发事件, 文中提出的一种 QoS 路由协议(EQHR). EQHR 路由协议主要由三个阶段组成: 在网络初始化阶段, 每个节点配置自身的路由表. 在路径发现与建立阶段, 当前节点寻找多条不相交路径中综合代价最小的路径. 在数据通信与路径维护阶段, 利用 ACK 确认机制来处理路径选择失败的问题. 仿真结果表明, 在相等数据发送率的前提下, EQHR 路由协议比 MM Speed、AODV 协议在数据传输成功率、数据延时、网络剩余能量方面均有不同程度的提高.

关键词: 传感器网络; 事件驱动; 可靠性; 数据延迟

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0059-04

An Event-driven QoS Routing Protocol for Heterogeneous Sensor Work

WAN Xiao-xia¹, TIAN Ming^{2,3}, WU Guo-min³

(1 College of Information, Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China;

2 College of Computer, NanJing University of Aeronautics and Astronautics, NanJing 210000, China;

3 College of Information, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: As to some disruptive events in the heterogeneous sensor network, a QoS routing protocol is proposed (EQHR). EQHR protocol consists of three phrases: In the first phrase, every node gets initial route table. In the second phrase, source node will find minimum-cost path among multiple disjoint paths. In the third phrase, data transmission and route maintenance are conducted for failure of route selection under the ACK confirmation mechanism. Simulation result shows that EQHR protocol can make some improvements for the ratio of successful data delivery, data delay and network residual energy, compared to MM Speed, or AODV protocol.

Key words: sensor network; event-driven; reliability; data delay

1 引言

随着传感器网络研究的深入, 异构传感器网络逐渐成为近年来新的研究热点^[1]. 异构传感器网络根据感知的特性大致分为三类: 基于事件驱动的感知、基于时间的周期感知和基于信息查询的主动感知. 其中设计 QoS 路由协议是异构传感器网络(HWSN)的一个重要的部分, 这对基于传感器网络的事件监控系统显得很有意义.

随着 HWSN 路由协议研究的深入, 学者们提出不同的解决方案. 文献[2]提出的 ProHet 协议通过反向路径的方法来处理网络的不对称通信链路以及利用历史数据统计的方法来提高路由的可靠性, 但 ProHet 的能量使用效率方面不高. 文献[3]提出 CHR 路由协议使高能量的节点处理长距离的数据通信, 而低能量的节点处理短距离的数据通信. 文献[4]提出 MCR 路由协议通过改变簇头选择的权重使网络负载能得到相对均匀分布, 以提高网络的稳

收稿日期: 2012-02-22; 修回日期: 2012-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61105057)

定性和吞吐量. 文献[5]提出的 DARA 协议通过自适应调度机制使网络的可靠性和能量使用效率都得到较大的提高.

上述 HWSN 路由协议针对事件驱动的 QoS 路由协议的研究相对较少. 本文对此分析: 在网络的突发事件产生时, 如何使众多的节点可靠的、及时的探测到事件的发生; 节点如何能量高效使用都是此类协议设计的难点. 所提出的 EQHR 协议综合考虑节点间的最小跳数, 网络可靠性, 实时性和能量高效使用四个方面, 构造相应路径选择代价函数. 实验表明 EQHR 协议可有效提高网络的可靠性、减少网络延时、增加网络能量的使用效率.

2 系统模型

2.1 前提假设

假设 n 个传感器节点随机均匀分布在一个正方形区域 T 中, 节点 sink 位于区域 T 的中央. 每个节点拥有不同的初始能量, 且各自的能耗均不同. 各节点可以控制自身的发射功率来调节通信半径 R , 以处理相应的路由数据. 在事件发生后, 周围的节点监测到事件的发生, 将数据通过多路径的方式传送给节点 sink.

2.2 可靠性模型

假设网络源节点 i 沿路径 x 与节点 sink 通信. 其数据通信成功率 p_x 为

$$p_x = \prod_{j=1}^{h(j,m)} [1 - (1 - p_x^{ij})^{rm+1}] \quad (1)$$

式中, p_x^{ij} 为节点 i 沿路径 x 到下一条节点 j 的数据通信成功率. rm 为协议数据链路层采用 ARQ 确认机制, 每跳节点的重复监测数据的最大数值. m 为源节点到达 sink 节点的最小跳数值^[6]. 源节点 i 可沿 N 条不相交的路径到达节点 sink. 故节点 sink 成功接收报文的概率 $P(N)$ 如下:

$$P(N) = \sum_{x=1}^N p_x \quad (2)$$

如果上述事件发生满足 Bernoulli 定律, 则相应的正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 的参数依次如下:

$$\mu = p_x \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \sum_{x=1}^N p_x (1 - p_x) \quad (4)$$

假设随机变量 $N^* = \frac{N - \mu}{\sigma}$, 上式可变成标准的

正态分布. 如源节点 i 监测到 K 次事件的发生^[7], 则节点 sink 接收到数据的可靠性 $R(k)$ 表示如下:

$$R(k) = 1 - P(N)^{k^2} \quad (5)$$

2.3 数据延时模型

在 EQHR 路由协议中, 源节点 i 到节点 sink 的数据延迟 T_{delay} 通过 Explorer 报文机制实现^[8]. Explorer 报文是一种特殊的报文, 它可广播到网络的每个节点, 每个节点用平均实时传输速率来处理它. T_{delay} 的表示如下:

$$T_{\text{delay}}(sr, des) = T_{\text{exp}} - T_{\text{ack}} \quad (6)$$

式中, sr, des 依次表示数据源节点和节点 sink, T_{exp} 表示源节点初始化 Explorer 报文的时间点, T_{ack} 表示源节点接受节点 sink 确认报文的时间点. 则整个网络的平均延迟为:

$$T_{\text{delay}}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{delay}}(i, des)}{n} \quad (7)$$

2.4 能耗模型

网络节点的能耗 E_c 主要由三部分构成: 发送报文的能耗 E_r 、接收报文的能耗 E_{re} 以及侦听报文的能耗 E_{det} , 三者之间的关系为 $E_r \geq E_{re} \geq E_{det}$. 三者的表示如下:

$$E_r(k, d) = E_{\text{elec}}(k) + k \times (r^a \times e_{\text{ant}}) \quad (8)$$

$$E_{\text{Re}}(k) = E_{\text{Re_elec}}(k) = k E_{\text{elec}} \quad (9)$$

$$E_{\text{det}} = E_{re} * L_{ph} \quad (10)$$

则单个节点的能耗 E_c 为

$$E_c = \alpha_1 E_r + \alpha_2 E_{re} + \alpha_3 E_{\text{det}} \quad (11)$$

式中, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 为传感器网络所在的特定参数, 依据不同发生事件的监测环境而定. 则整个网络的剩余能量 E_{res} 如下:

$$E_{res} = E_0 - \sum_{i=1}^n E_c(i) \quad (12)$$

式中, E_0 为网络的初始总能量, $E_c(i)$ 为节点 i 的能耗.

3 EQHR 路由协议

EQHR 路由协议主要由三个阶段组成: 网络初始化, 路径发现与建立, 数据通信与路径维护.

3.1 网络初始化

在网络初始化阶段, 每个节点需配置自身的路由表, 其路由报文的格式为 $M(\text{Neighbor-ID}, \text{Hop}, R(k), T_{\text{del}}, E_{res})$. 其中, Neighbor-ID 为当前节点 i 的邻居节点序号, Hop 为源节点 i 到节点 sink 的最小跳数, $R(k)$ 为节点 i 监测某事件发生 k 次时, 目标节点成功接收报文的可靠性, T_{del} 为节点 i 到节点 sink 的数据延迟, E_{res} 为节点 i 的剩余能量.

3.2 路径发现与建立

在路径发现与建立阶段,节点 i 转发报文给下一跳节点时需要综合考虑以下因素:节点间的最小跳数值 Hop 、节点 sink 接收报文的可靠性 $R(k)$ 、当前节点 i 到节点 sink 的数据延迟 T_{del} 、当前节点 i 的剩余能量 E_{res} 。则相应路径选择的代价函数 $cost_i$ 如下:

$$cost_i = cost_j + \beta_1 HOP + \beta_2 R(k) + \beta_3 T_{del} + \beta_4 E_{res} \quad (13)$$

路径发现过程中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 表示事件监测环境的权重系数,且 $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1$ 。不同监测环境要求权重系数不同。例如 $(0, 0.2, 0.7, 0.1)$ 表示 EQHR 协议综合考虑报文传输的可靠性、传输实时性、节点的剩余能量因素,其中主要考虑报文传输的实时性因素。

3.3 数据通信与路径维护

在数据通信与路径维护阶段, EQHR 协议采用 ACK 确认机制来提高数据通信的可靠性。当前节点 i 感知到 T 区域某个事件突然发生,它将检索其路由表,寻找到节点 sink 代价最小的邻居节点,并发送请求报文送到节点 sink。接着节点 sink 向节点 i 发回 ACK 确认报文,节点 i 再发送报文给节点 sink。反之 ACK 报文没有发回到节点 i 时,节点 i 需重新发送 req 请求报文,重新选择路径。假如再次失败, EQHR 则进入第二阶段。

4 仿真实验

为了测试 EQHR 协议的路由性能,假设实验中 150 个节点随机均匀分布在 1500×1500 的正方形监测区域中。每个节点初始能量大致在 $50J \sim 100J$ 之间,模拟过程忽略节点间无线信道的相互干扰。

4.1 数据传输成功率

数据传输成功率为节点 sink 接受的报文与源节点发送报文的百分比。它是数据可靠传输的一个重要参数。EQHR 路由协议与 MMSpeed、AODV 协议相比的实验结果如图 1 所示。

由图 1 可知,相同报文发送率下, EQHR 协议的数据传输成功率比 MM Speed、AODV 相应的提高 22%, 32.5%。这由于 AODV 协议只采用单一的路径传递数据,数据传输成功率较低。MM Speed 采用了多路径的数据传递方式,比 AODV 协议在数据传输成功率方面有一定的提高。而 EQHR 协议在采用多路径传输的基础上,采用 ACK 确认机制。另外,路径选择时 EQHR 充分考虑节点间的最小路

径,使得 EQHR 协议获得较高的数据传输成功率。

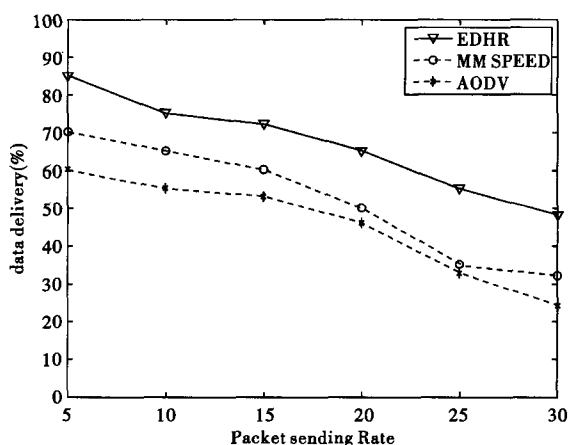


图1 数据传输成功率

4.2 数据延迟

数据延迟为源节点和 sink 之间的报文平均传输时间。它是数据实时传输的一个度量参数。EQHR 与 MM Speed、AODV 协议相比的实验结果如图 2 所示。

由图 2 所示, AODV 的数据延迟比 EQHR、MM Speed 的数据延迟高出 3.2 倍。这由于 AODV 协议在节点路径转发时没有考虑数据通信的实时性。而 MM Speed 路由报文的一个时间域专门负责数据传输的实时性,故数据通信延迟较小。EQHR 协议的代价函数考虑数据延迟和节点间最小跳数因素,使 EQHR 协议的实时性得到较好的体现。

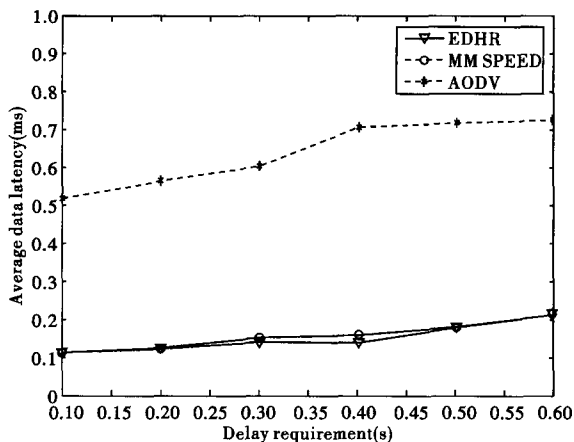


图2 数据延迟

4.3 网络剩余能量率

网络剩余能量率为网络的剩余能量与初始总能量之比。它是网络能量高效使用的一个度量参数。EQHR 协议与 MM Speed、AODV 相比的实验结果如图 3 所示。

如图 3 可知, EQHR 的剩余能量率比 MM Speed、AODV 协议依次提高 24.1% 和 36.8%。由于 AODV 与 MM Speed 协议在报文转发的过程中均未考虑节点的剩余能量因素, 而 EQHR 协议在节点路径选择时考虑最短路径和节点剩余能量的因素, 使网络通信节省不必要的能耗。

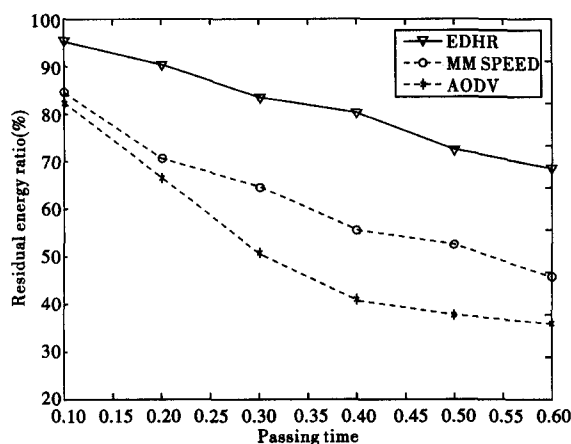


图 3 网络剩余能量率

5 结束语

针对 HWSN 突发事件的产生, 文中提出的一种 EQHR 路由协议。与 MM Speed、AODV 协议相比, EQHR 协议在可靠性、实时性和能量高效使用方面均有不同的提高。后续工作主要针对移动突发事件的跟踪路由以提高传感器网络监控的可靠性、实时性。

参考文献:

- [1] 王镇, 刘学军. 基于节点移动和协作转发的异构传感器网络路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(1): 62-67.
- [2] Yuefei Hu, Wenzhong Li, Xiao Chen, et al. A probabilistic routing protocol for heterogeneous sensor networks[C]// 2010 Fifth IEEE International Conference on Networking, Architecture, and storage. Macau;

IEEE society press, 2010.

- [3] Xiaojiang Du, Fengjing Lin. Improving routing in sensor networks with heterogeneous sensor nodes[C]// Vehicular Technology Conference. Stockholm: Springer, 2005.
- [4] Dilip Kumar, Trilok C. Aseri, Patel R B. Multi-hop communication routing (MCR) protocol for heterogeneous wireless sensor networks[J]. Information Technology, Communication and Coverage, 2011, 1(2): 130-145.
- [5] Dulman S, Nieberg T, Wu J, et al. Trade-off between traffic overhead and reliability in multipath routing for wireless sensor networks[C]// Wireless Communications and Networking A. New Orleans, LA, USA: IEEE society press, 2010.
- [6] Md Abdur Razzaque, Muhammad Mahhub ALAm, Md Mamun-or-Rashid et al. Multi-constrained QoS geographic routing for heterogeneous traffic in sensor networks[J]. ICICE Trans. COMMUN, 2008, 91(8): 2589-2601.
- [7] Dulman S, Nieberg T, Wu J, et al. Trade-off between traffic overhead and reliability in multi path routing for wireless sensor networks[C]// Wireless Communications and Networking A. New Orleans, LA, USA: IEEE society press, 2010.
- [8] Peng Li, Song Guo, Hai Jin et al. Maximum lifetime broadcast and multicast routing in unreliable wireless Ad-Hoc networks[C]// Global Telecommunications Conference. Miami, FL: IEEE society press, 2010.

作者简介:



万小霞 女, (1978—), 硕士, 讲师。研究方向为传感器网络、嵌入式系统等。