

基于事件驱动的 QoS 移动传感网路由协议

万小霞¹, 田 明^{2,3}, 吴国民³

(1 盐城师范学院 网络工程系, 江苏 盐城 224002; 2 南京航空航天大学 计算机学院, 江苏 南京 210005;

3 盐城工学院 计算机工程系, 江苏 盐城 224051)

摘 要: 针对移动传感网中的突发事件, 提出一种 QoS 路由协议(EQMR). EQMR 路由协议主要由三个阶段组成: 网络初始化、路径发现和建立、数据通信和路径维护. 在网络初始化阶段, EQMR 协议将网络分成两层: 主干网和传输子网. 在路径发现与建立阶段, 附属骨干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, EQMR 路由协议比 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: 移动传感器网络; 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)11-0058-04

An Event-driven QoS Routing Protocol for Mobile Sensor Work

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

(1 Department of Network Engineering, Yancheng Teachers' University, Yancheng 224002, China;

2 College of Computer, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210005, China;

3 Department of Computer Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: As to some disruptive events in mobile sensor network, a QoS routing protocol is proposed (EQMR). EQMR protocol consists of three phrases: network initialization, route discovery and establishment, data communication and route maintenance. In the first phrase, network is divided into two parts: backbone network, sensing subnet. In the second phrase, related backbone 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 ACK confirmation mechanism. Simulation result shows that EQMR protocol can make some improvements for the ratio of successful data delivery, data delay and network residual energy, compared to AODV protocol.

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

1 引言

随着传感器网络研究的深入, 移动传感器网络逐渐成为近年来新的研究热点^[1-3]. 它的应用包括车载网、海洋或河流中的目标监测、移动动物的生理监测等. 根据感知的特性可将其大致分为三类: 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 路由协议是移动传感器网络(MSN)的一个重要的部分, 这对基于移动传

感器网络的监控系统显得很有意义.

随着 MSN 路由协议研究的深入, 学者们提出不同的解决方案. 文献[4]提出一种结合节点移动向量和接收信号强度指示值 RSSI 信息的机会主义路由协议. 文献[5]提出基于簇的移动传感器网络路由协议, 该协议从节点的移动性选择簇头, 以提高网络的稳定性. 文献[6]提出基于链路可行性的移动传感器网络路由协议. 文献[7]提出的 VIBE 协议通过虚拟架构机制使网络的能量使用率都得到较大的提

高.

上述 MSN 路由协议针对事件驱动的 QoS 路由协议的研究相对较少. 本文提出的 EQMR (Event-driven QoS Multi path Routing protocol) 协议综合考虑网络可靠性, 实时性和能量高效使用三个方面, 构造相应路径选择代价函数.

2 系统模型

2.1 前提假设

(1) 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 的左上角.

(2) 网络由静止节点和移动节点组成.

(3) 各节点可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.

(4) 在事件发生后, 周围的节点监测到事件的发生, 相应骨干节点通过多路径的方式传送数据给节点 sink.

2.2 数据传输模型

EQMR 协议依据数据传输将网络分成两层: 数据传输主干网、感知子网. 主干网将整个监控区域分为若干个虚拟感知子网, 每个节点根据自身的地理位置划入相应的感知子网; 在每个感知子网中, 定期选举一个静态节点作为骨干节点. 子网内移动或静止节点将感知的事件数据传送给的相应骨干节点, 接着相应骨干节点通过多路径方式将数据传输给 sink. 数据传输模型如图 1 所示.

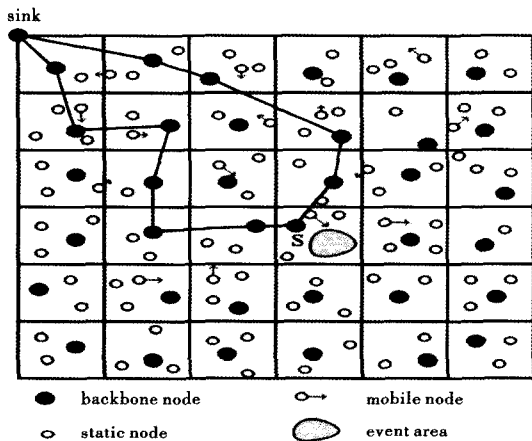


图 1 数据传输模型图

2.3 可靠性模型

传感子网的节点分为两种: 静止节点和移动节点. 静止节点可看作移动速度为零的移动节点. 假设移动节点 i 在 t 时刻的地理位置为 $(x_i(t), y_i(t))$, 它附属的骨干节点 j 在 t 时刻的地理位置为 $(x_j(t),$

$y_j(t))$, 则二者之间的距离 $d_{i,j}(t)$ 为:

$$d_{i,j}(t) = \sqrt{(x_i(t) - x_j(t))^2 + (y_i(t) - y_j(t))^2} \quad (1)$$

则节点 i 的移动因子 $M_i(t)$ 为

$$M_i(t) = d'_{i,j}(t) = \frac{d(d_{i,j}(t))}{d(t)} \approx \frac{\Delta d_{i,j}(t)}{\Delta t} = \frac{d_{i,j}(t) - d_{i,j}(t_0)}{t - t_0} \quad (2)$$

式中, t_0 为参考时间点. 当 $M_i(t) < 0$ 时, 节点 i 靠近骨干节点 j ; 当 $M_i(t) = 0$ 时, 节点 i 保持静止; 当 $M_i(t) > 0$ 时, 节点 i 远离骨干节点 j . 依据无线信号传输的 shadowing 模型^[8]

$$RSSI = RSSI_0 + 10n \lg \frac{d}{d_0} + \xi \quad (3)$$

式中, $RSSI$ 为节点 i 的接收信号强度, n 为路径损耗因子, d 为节点 i 与节点 j 的距离, d_0 为参考距离, ξ 为环境影响因子. 节点 i 到节点 j 的数据通信成功率为

$$P_s = P_s + \frac{k}{RSSI} \quad (4)$$

式中 k 为环境因子. 假设网络骨干节点 j 沿路径 x 与节点 sink 通信. 其数据通信成功率 p_x 为

$$p_x = \prod_{j=1}^{h(j,m)} [1 - (1 - p_x^{j,j+1})^{rm+1}] \quad (5)$$

式中, $p_x^{j,j+1}$ 为节点 j 沿路径 x 到下一条节点 $j+1$ 的数据通信成功率. rm 为 EQMR 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 为骨干节点 j 到达 sink 节点的最小跳数值^[9]. 骨干节点 j 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:

$$P(N) = \left(\sum_{x=1}^N p_x \right) * p_s \quad (6)$$

如源节点 i 监测到 k 次事件的发生, 则节点 sink 接收到数据的可靠性 $R(k)$ 表示如下:

$$R(k) = 1 - P(N)^{k^2} \quad (7)$$

2.4 数据延时模型

在 EQMR 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^[10]. 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:

$$T_{\text{delay}}(sr, des) = T_{\text{exp}} - T_{\text{ack}} \quad (8)$$

sr 和 des 分别表示源节点和 sink 节点, 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:

$$T_{delay}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n T_{delay}(i, des)}{n} \quad (9)$$

2.5 能耗模型

网络移动节点的能耗 E_c 主要由四部分构成: 发送报文的能耗 E_{tr} 、接收报文的能耗 E_{re} 、侦听报文的能耗 E_{det} 和运动耗能 E_{mov} , 前三者之间的关系为 $E_{tr} \geq E_{re} \geq E_{det}$. 三者的表示依次如下:

$$E_{tr}(k, d) = E_{elec}(k) + k \times (r^s \times e_{ant}) \quad (10)$$

$$E_{Re}(k) = E_{Re_elec}(k) = k E_{elec} \quad (11)$$

$$E_{det} = E_{re} * L_{ph} \quad (12)$$

则单个移动节点的能耗 E_c 为

$$E_c = \alpha_1 E_{tr} + \alpha_2 E_{re} + \alpha_3 E_{det} + \alpha_4 E_{mov} \quad (13)$$

式中的 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 为所在传感器网络的特定参数, 依据事件发生的不同监测环境而定. 网络的静止节点可看作运动耗能为零的移动节点, 故能耗公式也可参照式(13)计算. 则整个网络的剩余能量 E_{res} 如下:

$$E_{res} = E_{to} - \sum_{i=1}^n E_c(i) \quad (14)$$

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

3 EQMR 路由协议

EQMR 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, 依据静止节点的位置信息和通信半径, 将网络划分成若干传感子网. 要保证相邻子网中的任意两个节点都能通信. 然后在传感子网中, 从 n 个静止节点中选出剩余能量最大一个作为骨干节点, 选举依据描述如下:

$$E_{res} = \max_{i=1}^n [E_{res}(i)] \quad (15)$$

传感子网中其它静止节点和移动节点计算到主干网所有骨干节点的距离, 然后加入距离值最小的传感子网.

3.2 路径发现与建立

在路径发现与建立阶段, 感知事件的源节点 i 转发报文给其骨干节点 j . 在主干网中, 节点 j 转发下一跳节点 $j+1$ 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 j 到节点 sink 的数据延迟 T_{del} 、当前节点 j 的剩余能量 E_{res} . 则相应路径选择的代价函数 $cost_{j+1}$ 如下:

$$cost_{j+1} = cost_j + \beta_1 Hop + \beta_2 R(k) + \beta_3 T_{del} + \beta_4 E_{res} \quad (16)$$

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, 0.1, 0.8, 0.1) 表示 EQMR 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, EQMR 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 T 区域某个事件突然发生, 首先发送请求给其骨干节点 j . 节点 j 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 向骨干节点 j 发回 ACK 确认报文, 然后节点 j 与节点 i 进行确认通信. 如果确认成功, 节点 i 则发送报文给节点 sink. 反之节点 i 需重新发送 req 请求报文, 重新选择其它路径. 假如再次失败, EQMR 协议则进入第二阶段.

4 仿真实验

为了测试 EQMR 路由协议的性能, 假设实验中 100 个节点随机均匀分布在 1000×1000 的正方形监测区域中. 每个节点初始能量大致在 50J ~ 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. 它是衡量数据可靠传输的一个重要参数. EQMR 路由协议与 AODV 协议相比的实验结果如图 2 所示.

可以看出, 相同报文发送率下, EQMR 协议的数据传输成功率比 AODV 相应的提高 39.4%. 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. EQMR 协议在采用多路径传输的基础上, 采用 ACK 确认数据传输, 使得 EQMR 协议获得较高的数据传输成功率.

4.2 数据延时

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. EQMR 与 AODV 协议相比的实验结果如下:

EQMR 的数据延迟比 AODV 的数据延时低出

33.2%。这由于 AODV 协议在节点路径转发时只考虑单路径的节点间最小跳数,而 EQMR 协议采用 Explorer 实时报文传输,以及代价函数的最小跳数因素,使 EQMR 协议的实时性得到较好的体现。

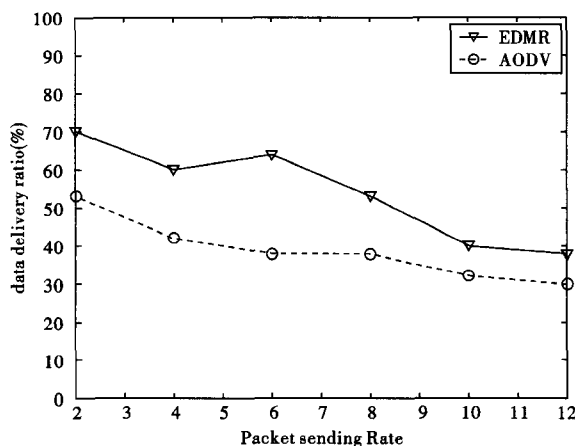


图2 数据传输成功率

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。它是衡量网络能量高效使用的一个度量参数。实验结果如下:

EQMR 的剩余能量率比 AODV 协议依次提高 19.1%。由于 AODV 在报文转发的过程中均未考虑节点的剩余能量因素,而 EQMR 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,使数据通信节省不必要的能耗。

5 结束语

针对 MSN 突发事件的产生,提出一种 EQMR 路由协议。与 AODV 协议相比, EQMR 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持续跟踪路由,来提高移动传感器网络监控的可靠性和实时性。

参考文献:

[1] Mustafa İ Akbaş, Matthias R Brust, Damla Turgut. SOFROP: Self-organizing and fair routing protocol for wireless networks with mobile sensors and stationary

actors [J]. Computer Communications, 2011, 34(18): 2135-2146.

- [2] Vincent Ngo, Alagan Anpalagan. A detailed review of energy-efficient medium access control protocols for mobile sensor networks [J]. Computers & Electrical Engineering, 2010, 36(2): 383-396.
- [3] 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): 62-66.
- [4] 霍广城, 王晓东. 移动传感网中一种基于 RSSI 的机会议路设计 [J]. 电子学报, 2009, 37(3): 608-613.
- [5] Deng S, Li J, Shen L. Mobility-based clustering protocol for wireless sensor networks with mobile nodes [J]. Wireless Sensor Systems, 2011, 1(1): 39-47.
- [6] Ming Yu, Aniket Malvankar, Wei Su, et al. A link availability-based QoS-aware routing protocol for mobile ad hoc sensor networks [J]. Computer communications, 2007, 30(18): 3823-3831.
- [7] Aris Papadopoulos, Alfredo Navarra, Julie A McCann, et al. VIBE: An energy efficient routing protocol for dense and mobile sensor networks [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(4): 1177-1190.
- [8] Koubaa A. An empirical analysis of the impact of RSS to distance mapping on localization in WSNs [C] // Communications and Networking (ComNet), 2012 Third International Conference. Hammamet, Tunisia: IEEE society press, 2012.
- [9] 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.
- [10] 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。研究方向为传感网络、嵌入式系统。