

基于移动 Agent 和 WSN 的突发事件场景数据收集算法研究

袁凌云^① 王兴超^② 徐天伟^①

^①(云南师范大学计算机科学与技术学院 昆明 650092)

^②(云南大学电子计算中心 昆明 650031)

摘要: 该文针对无线传感器网络应用于突发事件监测场景的能量消耗和网络延迟问题, 提出了基于移动 Agent 的无线传感器网络簇式数据收集算法。动态成簇过程基于事件严重程度, 并由其决定簇的生命周期和覆盖范围。Sink 和簇头之间形成以 Sink 节点为簇头的虚拟簇。移动 Agent 迁移路径规划过程中下一跳节点的选取基于节点剩余能量、路径损耗及受刺激强度。移动 Agent 通过节点遍历的方式完成对所有簇内成员节点信息的收集。仿真结果表明, 相对于 C/S 数据收集模型, 基于移动 Agent 的模型具有更好的节能效果, 并能一定程度地减少网络延迟, 尤其适用于大规模无线传感器网络应用。

关键词: 无线传感器网络; 移动 Agent; 数据收集; 分簇; 突发事件监测

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)08-1974-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.01147

Data Gathering Algorithm Based on Mobile Agent and WSN for Emergent Event Monitoring

Yuan Ling-yun^① Wang Xing-chao^② Xu Tian-wei^①

^①(College of Computer Science and Information Technology, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

^②(Yunnan Computer Center, Yunnan University, Kunming 650031, China)

Abstract: Focusing on the energy consumption and the network delay in wireless sensor network applied to emergent event monitoring, a new Data Gathering algorithm based on Mobile Agent (DGMA) is proposed for the chain-based wireless sensor network. The process of dynamically clustering the sensor nodes is based on the event severity, by which the scale and lifetime of clusters are determined. And a virtual cluster is formed between sink and cluster heads regarded sink node as its cluster head. The next hop in route planning for mobile agents is determined by the residual energy, the path loss and the stimulus intensity. The mobile agents equipped on cluster heads can gather information by traversing all member nodes. The theory analysis and simulation results show that mobile agent model has a better performance in energy consumption and network delay compared to C/S model. Furthermore, DGMA will provide a more appropriate performance for wireless sensor network applied to a large scale emergent event monitoring.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); Mobile Agent; Data Gathering; Cluster-based; Emergent event monitoring

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是由大量微型传感器节点通过无线通信方式自组形成的分布式网络系统, 在军事、环境监测、工业、医疗、智能交通等领域都有着巨大的应用价值。但因节点固有特性导致存在能量、存储与计算能力、通信能力等有限的问题。很多研究者从资源

的节省和有效利用角度, 开展了许多有意义的研究。尤其是如何节省能量消耗以延长网络生命周期方面, 其中基于能量有效的数据收集路由算法研究最为突出, 如 LEACH^[1], PEGASIS^[2], PEDAP^[3]等。基于分簇的无线传感器网络主要通过减少与基站通信的节点数以减少能量消耗, 相对于直接传输, 该方法在能量有效性方面有了显著提高。但从数据传输角度而言, 节点间或节点到簇头的数据传输所消耗的能量总是远远大于数据处理过程的能量消耗, 减少节点间的通信频度才是最根本的解决方法。近几年逐渐发展并趋于成熟的移动 Agent 技术正好为

2009-08-28 收到, 2010-01-27 改回

云南省社会发展基础研究面上项目(2008CD113), 国家 863 计划项目(2008AA04A105)和云南省教育厅基金项目(08Y0136)资助课题

通信作者: 袁凌云 yuan_ling_yun@yahoo.com.cn

该问题提供了新的解决思路。

移动 Agent 计算模式具有异步交互、按需移动和靠近数据源处理等特点。可根据自身目标和环境状况移动到拥有相应资源的节点上进行计算,与无线传感器网络的特点和应用需求类似。因此,将 Agent 技术结合到无线传感器网络中将成为一种必然的研究趋势。基于移动 Agent 的分布式无线传感器网络(MADSN)最早是由 Qi^[4]等人提出的。移动 Agent 用于协作信号和信息处理,仅传输软件代码到传感器节点。该方法减少了感知数据的传输,极大地程度地消除了数据冗余。但算法基于以下几个假设:(1)无线传感器网络基于分簇的拓扑结构;(2)传感器节点和簇头之间仅支持单跳传输;(3)多传感器数据被融合到一个固定尺寸的单一数据包。这些假设条件限制了 MADSN 的应用范围。Agent 技术在无线传感网络数据收集方面的应用,较早开始研究的是定向扩散(Directed Diffusion, DD)协议。Zhang^[5]等人提出了基于协作移动 Agent 的无线传感器网络定向扩散算法,利用移动 Agent 完成数据处理并在节点端进行数据聚合。Malik^[6]等人也研究了基于移动 Agent 的定向扩散协议,主要以提高效率为目标。之后文献[7]对该方法进行了改进,加入了空间分布模型并优化了移动 Agent 的个数。Chen^[8]等人首先指出文献[4]中所做假设的缺陷,并提出了基于移动 Agent 的多跳数据收集策略。将移动 Agent 分为三级以减少信息冗余和通信负载。其中节点级移动 Agent 通过上下文相关性完成数据的局部处理;任务级移动 Agent 通过比较相邻节点数据变化以消除空间冗余;联合任务级 Agent 通过数据连接以减少通信负载。文献[9]针对典型分簇协议 LEACH 中簇头节点比一般节点消耗更多能量的特性,提出了基于移动 Agent 的 LEACH 协议以节省能量并提高数据可靠性。Shah^[10]等人结合了 RF 和 UWB 两种通信方式,提出了基于多移动 Agent 的分布式混合传感器网络数据聚合算法。簇内通信采用 RF 模式,而簇间通信则采用 UWB 模式,簇头节点配置 UWB,并以较高的数据率向移动 Agent 传输数据。

本文在之前对突发事件监测及其数据融合的研究基础之上^[11],针对突发事件监测场景中动态分簇无线传感器网络数据收集过程中的能量消耗和网络延迟问题,提出了一种基于移动 Agent 的无线传感器网络簇式数据收集算法(Data Gathering algorithm based on Mobile Agent in cluster-based wireless sensor network, DGMA)。其中,动态成簇过程基于事件严重程度,并由其决定簇的生命周

期和覆盖范围。Sink 和簇头之间形成以 Sink 节点为簇头的虚拟簇。移动 Agent 迁移路径规划过程中下一跳节点的选取基于对节点剩余能量、路径损耗及节点受刺激强度三者的综合考虑。每个簇头节点配置一个移动 Agent,通过遍历的方式收集所有簇内成员节点信息。

2 基于移动 Agent 的无线传感器网络簇式数据收集算法(DGMA)

2.1 基于事件严重程度的动态成簇方法

当无线传感器网络被配置在某一监控区域后,所有节点初始都处于抑制状态。当有事件发生时,监控区域某些节点会受到某种强度的刺激,以使其进入兴奋状态,变为活动节点。当离散事件过去,即刺激强度降低后,便又重新回到抑制状态。2.1.1 定义和描述了相关的刺激强度和状态转换阈值。

2.1.1 相关定义和概念

(1)基本硬阈值(Basic Hard Threshold, BHT)。该阈值用以衡量事件发生时的刺激强度,即事件严重程度。该值不随监测数据 Mdata 变化,是一个相对稳定的值。

(2)标准硬阈值 (Normal Hard Threshold, NHT)。当处于抑制状态的节点想要竞争簇头时,使用其 NHT 值,即簇内节点向簇头传送信息时使用 NHT 以判断是否重复发送了相似信息。 $NHT_{Initial} = BHT - ST$ 。初始化时,所有节点都处于抑制状况,仅当其监测数据满足 $M_{data} > BHT \& \& |M_{data} - NHT| \geq ST$ 时该节点才进入兴奋状态,并将 NHT 值更新为 M_{data} 。

(3)软阈值(Software Threshold, ST)。该值用于衡量监测数据的变化量,即指引起节点兴奋或传送监测数据的最小变化量。

(4)相对兴奋时间阈值(Relative Exciting Time Threshold, RETT)。RETT 用于确定簇的生存时间。RETT 的大小与节点受到阈上刺激的强度成正比,即 $RETT = \alpha |M_{data} - BHT|$,其中 α 为兴奋时间系数。

(5)绝对兴奋时间阈值(Absolute Exciting Time Threshold, AETT)。AETT 用于簇内节点判断簇的生存时间。 $AETT = t + RETT$,其中 t 为当前时间,当 $t > AETT$ 时,节点从兴奋状态重新回到抑制状态。

2.1.2 基于事件严重程度的动态成簇过程 本文主要考虑事件驱动型无线传感器网络在突发事件场景中的应用,采用多跳簇-树型拓扑结构。整个网络主要由普通成员节点、簇头节点和 Sink 节点组成。簇

头和簇内成员节点之间采用多跳通信模式, Sink 节点和簇头节点之间也采用多跳模式, 形成一个虚拟簇。网络拓扑结构并不事先设定, 仅当有事件发生时才动态生成, 簇的覆盖范围和生命周期取决于事件的严重程度。动态成簇过程如下:

步骤 1 网络节点初始化。当网络配置完成后, 所有节点从基站获取其位置信息, 并通过信息交换获得邻居节点的位置信息和到基站的距离等;

步骤 2 所有节点将其状态置为抑制状态;

步骤 3 当某区域发生事件后, 若某处于抑制状态节点 i 的监测数据满足 $M_{data_i} > BHT$ 且 $|M_{data_i} - NHT| \geq ST$, 该节点将从抑制状态转为兴奋状态并成为簇头, 以簇头身份广播成簇信息。簇的覆盖范围和生命周期取决于 $|M_{data} - BHT|$ 值。在节点成为簇头后, 该节点将计算成簇消息广播的跳数 K , $K = \varepsilon |M_{data} - BHT|$ (其中 ε 为某固定常数, 这里称为传播系数)。同时计算 RETT 和 AETT 的值, $RETT = \alpha |M_{data} - BHT|$, $AETT = t + RETT$, 并用新的 M_{data} 更新 NHT。簇头广播 CH 消息, 广播包由 CH 标记、簇头 ID、传输跳数 K 、新的 NHT、AETT 值和剩余能量等字段组成。

步骤 4 当抑制节点收到簇头广播消息后, 改变其状态为兴奋状态, 如果 $K-1 > 0$, 节点将修改 K 值并转发该消息。如果 ID 和 AETT 值与上次收到的相同, 即表示重复接收到消息, 则选择丢弃该包。如果已经处于兴奋状态的节点接收到不同的 CH 广播消息, 则根据 ESD 值、跳数和剩余能量等参数值来综合考虑加入哪个簇。

步骤 5 一旦有事件发生, 在事件区域内将立即形成以第一个受到阈上刺激节点为中心的簇, 为了避免冗余成簇, 当那些已经成为簇头的节点受到新的刺激时, 将不再重新进入兴奋状态, 且该簇内的成员节点也不能因新的刺激成为其它簇的簇头。

步骤 6 如果 $t > AETT$, 表明簇头的兴奋时间(生命周期)已经结束。此时, 释放该簇, 同时该簇头和其成员节点转换到抑制状态。若有新的事件发生, 节点将重新竞选簇头。

2.1.3 虚拟簇构建 通常情况下, 簇头与基站之间都是采用单跳通信模式, 不管簇头与基站之间距离有多远, 簇头都与基站直接通信, 往往使得那些远离基站的簇头因长距离通信而消耗过多的能量, 导致能量负载不均衡。为了解决该问题, 本文采用多跳通信模式, 即簇头与基站之间形成一个以基站为簇头的多跳虚拟簇。簇头始终在邻居节点中选择到基站最近的节点作为下一跳节点。若所有邻居节点到基站的距离都比本身到基站距离大时, 则该节点将

直接与基站连接, 从而形成一条从簇头到基站的通信路径, 图 1 显示了一个拓扑实例。

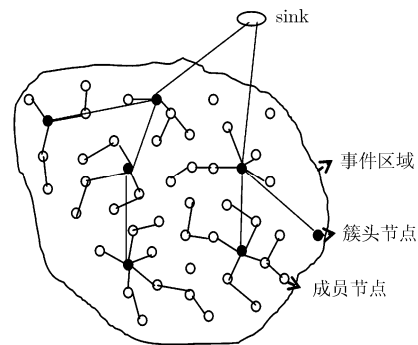


图 1 动态成簇拓扑结构示例

2.2 基于移动 Agent 的突发事件监测场景数据收集

2.2.1 移动 Agent 动态路径规划 移动 Agent 路由描述如下: 寻找从簇头出发的移动 Agent 遍历完所有簇内成员节点回到簇头的路径轨迹。本文在为 Agent 选择下一跳访问节点时, 不仅将能量消耗、路径损耗作为主要的性能评价指标, 还针对本文提出的具体应用背景, 加入了突发事件监测过程中节点受刺激的强度。通过式(1)寻求下一跳节点, 实现动态的路径查找。移动 agent 迁移路径的建立过程, 就是一个节点逐渐插入的过程。移动 Agent 从簇头出发, 通过式(1)获取 M_i 值, 从而将合适的节点 j ($j \in FT_i$) 插入到节点 i ($i=1, \dots, N$) (N 为簇内成员节点数) 后面, 成为其下一跳节点。依次建立起一条遍历所有节点的路径。

$$M = \max_{j \in FT_i} \left(\alpha \cdot \frac{E_j}{E_{\max}} + \beta \cdot \frac{C_{\max}}{C_j} \right) \cdot \mu \cdot I_j \quad (1)$$

其中 C_j 为下一跳路径损耗, E_j 为下一跳剩余能量, I_j 为下一跳节点受刺激强度。 C_{\max} , E_{\max} 表示 FT_i (节点 i 的所有邻居节点) 中路径消耗和剩余能量的最大值。系数 α , β , μ 是事先设定的特定常量 (通常有 $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \mu \leq 1$), 分别表示剩余能量、路径损耗和刺激强度对路径选择的不同影响力。从式(1)可知, 剩余能量越大、路径损耗越小和受刺激强度越大的节点被选为下一跳的概率越大。节点受刺激强度越大, 说明其所在事件区域的突发事件严重程度更高, 应该事先处理。路径损耗主要取决于两节点间的通信距离, 因此可将其简化为式(2)。

$$C_j = \begin{cases} d_{ij}^2, & d_{ij} \leq d_0 \\ d_{ij}^4, & d_{ij} > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中 d_{ij} 为节点 i 到 j 之间的距离, d_0 是通信距离阈

值(d_0 为一常数),其值取决于具体外部环境。若两节点之间通信距离小于 d_0 ,其路径损耗与距离平方成正比,否则与距离4次方成正比。

节点受刺激信号强度如式(3)所示,相当于节点感知数据与基本硬阈值之差。

$$I_j = |M_{\text{data},j} - \text{BHT}| \quad (3)$$

2.2.2 移动 Agent 数据融合 移动 Agent 由标识 ID、路由信息、数据缓存、处理代码组成,其中数据缓存中包含从传感器节点提取或融合的数据。设移动 Agent 的大小为 $S_{MA} = S_{\text{buffer}} + S_{fs}$,其中 FS 包含了移动 Agent 的标识、路由信息、处理代码等不随移动 Agent 的迁移而改变的部分, S_{buffer} 为移动 Agent 携带的数据部分。

在数据收集过程中,为了减少数据传输量,必须对数据进行融合。通常情况下仅在簇头节点进行融合操作。该方法加重了移动 Agent 携带数据的负荷,而且移动 Agent 的数据缓冲区 S_{buffer} 常常是有限制的。针对簇内多跳连接的情况,本文选取在那些中间节点进行数据融合。本文用数据聚合度 ρ 以衡量数据融合的力度, ρ_{ij} 用以描述从节点 i 到节点 j 因数据融合而引起数据量减少的比例($\rho_{ij} \in [0,1)$), f_j 用以表示是否在节点 j 上进行数据融合, $f_j \in \{0,1\}$, $f_j=1$ 表示要进行数据融合, $f_j=0$ 表示在节点 j 不进行数据融合。融合前后数据量的变化如下:

$$s_{\text{buffer}(j)} = (s_{\text{buffer}(i)} + s_j)(1 - \rho_{ij}f_j) \quad (4)$$

3 仿真实验及性能分析

3.1 仿真设置

本文采用网络仿真工具 NS-2.27 对算法进行了仿真验证,其中移动 Agent 的定义和实现基于 NS2 内嵌 C++。具体仿真参数设置如表 1 所示:

表 1 实验参数设置

参数	数值
网络范围	200 m × 200 m
网络节点数	50-400
节点初始能量	2 J
节点能量消耗阈值	0.01 J
单位信息内发送/接收的能量消耗 E_{elec}	50 nJ/bit
传输放大的能量消耗 ε_{amp}	100 pJ/bit/m ²
数据融合的能量消耗 $E_{\text{da-ft}}$	5 nJ/bit/message
移动 Agent 的长度 S_{MA}	500 Byte
移动 Agent 固定字节长度 S_{fs}	100 Byte
移动 Agent 缓冲区长度 S_{buffer}	400 Byte

3.2 能量消耗分析

在传感器网络中,传统的 C/S 模式是将传感数据汇聚到簇头或其它处理节点进行融合。而本文提出的模式中,传感器网络所传输的是携带数据融合结果的移动 Agent,而非待融合原始数据,因而降低了网络参与通信的数据量,从而减少了能量开销,具有节能效果。然而,为移动 Agent 规划路由却给传感器网络带来了额外的开销。

在基于移动 Agent 的传感器网络中,网络能量消耗主要来自为移动 Agent 规划路由和移动 Agent 在传感器网络中迁移并进行数据融合两大操作。路径规划过程中的能量消耗 E_R 主要来自于向邻居节点广播需要获取节点剩余能量、受刺激强度等信息的包所需的能量(E_{MA_r}),邻居节点接收广播包并返回信息包所需能量(E_{MA_c})(这里假设所有反馈包具有同样的包长度 k_2 ,广播包长度为 k_1)以及移动 Agent 计算 M 值所需能量(E_{MA_M})。广播包的尺寸很小,所以本文暂且忽略发送和接收广播包的能量消耗,此外,移动 Agent 计算 M 值的能量相对于传输能量也可忽略,则路径规划能量消耗可仅考虑邻居节点返回信息包所需能量,可表示为 $E_R = E_{MA_c}$,即如式(5)所示:

$$E_R = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{v_i-1} (\varepsilon_{\text{amp}} \cdot k_1 \times d^2 + E_{\text{elec}} \cdot k_1) \\ = k_1 \cdot \sum_{i=1}^n \left[2(v_i - 1) + \sum_{k=1}^{v_i-1} d^2(v_i(k), v_i(k+1)) \right] \cdot \varepsilon_{\text{amp}} \quad (5)$$

对于某个传感器而言,其耗能主要由发送移动代理的能耗(E_{MA_r})、接收移动代理的能耗(E_{MA_c})和移动代理进行数据融合的耗能(E_{MA_f})3部分组成。则节点的能量消耗(E_{MA})可以表示为 $E_{MA} = E_{MA_r} + E_{MA_c} + E_{MA_f}$,若目标节点非融合节点,则其能量消耗可表示为 $E_{MA} = E_{MA_r} + E_{MA_c}$ 。则用于移动代理迁移和收集数据的能量消耗如式(6)所示。基于移动 Agent 的无线传感网络总能量消耗 E_{TC} 可描述为 $EMA_{TC} = E_R + E_{MA}$ 。

$$E_{MA} = \sum_{i=1}^n (E_{\text{elec}} \cdot S_{MA} + \varepsilon_{\text{amp}} \cdot S_{MA} \cdot d^2 + E_{\text{elec}} \cdot S_{MA}) \\ + \sum_{j=1}^m E_{MA_{fs}} \cdot S_{\text{buffer}} \\ = S_{MA} \left[2(n-1) \cdot E_{\text{elec}} + \sum_{i=1}^n d^2(i, i+1) \cdot \varepsilon_{\text{amp}} \right] \\ + \sum_{j=1}^m E_{MA_{fs}} \cdot S_{\text{buffer}} \quad (6)$$

在基于 C/S 模式的传感器网络中,网络能量消耗由原始数据在网络中传输的能耗(E_{data})和数据融

合能耗(E_{fusion})组成。网络总耗能(E_{TC})可描述为 $E_{TC} = E_{\text{data}} + E_{\text{fusion}}$, 也即

$$E_{TC} = S \cdot \sum_{i=1}^n \left[2(v_i - 1) \cdot E_{\text{elec}} + \sum_{k=1}^{v_i-1} d^2(v_i(k), v_i(k+1)) \cdot \varepsilon_{\text{amp}} + \sum_{j=1}^m E_{\text{da-fu}} \right] \quad (7)$$

上述公式中的 S 和 S_{MA} 相等, 即两种模式下节点传输数据量相同。 k_1, k_2 相对于 S 和 S_{MA} 是非常小的, 且两种模式下都需建立邻居信息表和广播询问包的步骤, 因此该操作带来的能耗可以抵消。通过比较两种模式计算结果发现, 对于目标节点数目比较多, 且节点间保持多跳模式的情况下(本文将所有簇内成员节点都作为目标节点), 本文提出的基于移动 Agent 的无线传感器网络数据收集算法具有更好的节能效果。图 2 给出了两种模式下随时间变化平均能量消耗的情况(节点数为 100 的情况), 图 3 给出了网络密度对平均能量消耗的影响。

3.3 网络延迟分析

在基于移动 Agent 的传感器网络中, 网络延迟是指从 Sink 节点准备分派移动 Agent 开始到移动 Agent 携带数据融合结果返回 Sink 所需时间。本文提出算法中网络延迟主要由 4 部分组成: (1) 传感节点传送移动代理的延时; (2) 移动代理从一个传感节点到下一个传感节点的传播延时; (3) 移动代理进行数据融合的处理延时; (4) 每个节点寻找下一跳节点

产生的延时, 主要是等待邻居节点返回信息包的时间。在基于 C/S 模式的传感器网络中, 网络延时主要包括原始数据的传送延时、传播延时、簇头节点接收数据的延时及数据融合的延时。图 4 给出了两种不同模式下的网络延时情况(网络节点数为 50 时)。图 4 表明, 基于移动 Agent 的数据收集模式 DGMA 在执行数据融合时所带来的延时相比基于 C/S 模式的 EDMGP 要小一些, 但不明显。主要原因在于, 为了保证数据的完整性, 移动 Agent 需要遍历所有节点, 而不是仅走一条最优路径。尤其当事件区域节点数增多时, 移动 Agent 访问节点增多, 其延时增长速度将变快, 甚至超过 EDMGP。

4 结束语

针对基于事件驱动的无线传感器网络应用于突发事件监测数据收集过程中的能量消耗和网络延迟问题, 本文提出了基于移动 Agent 的无线传感器网络簇式数据收集算法。仅在有事发生时根据事件严重程度动态生成簇, Sink 节点与簇头之间形成虚拟簇。为每个簇头配置一个移动 Agent 依据访问顺序收集数据, 路径规划以能量消耗、路径损耗和节点受刺激强度为依据。仿真结果表明, 相同条件下, 基于移动 Agent 的模式较 C/S 模式有更好的节能效果, 且能在一定程度上减少了网络延迟, 尤其适合大规模网络应用。

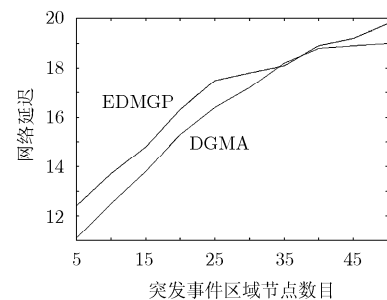
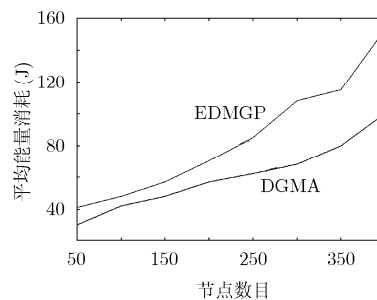
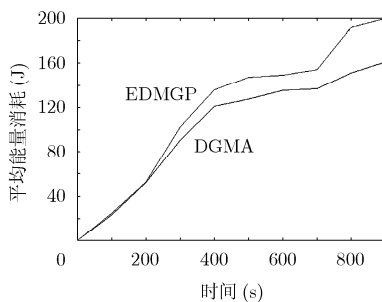


图 2 两种模式下网络平均能量消耗比较

图 3 两种模式下节点密度对能量消耗的影响

图 4 两种算法模式下网络延时比较

参考文献

- [1] Heinzelman W R, Chandrakasan A, and Balakrishnan H. Energy-efficient communication Protocol for wireless micro-sensor network [C]. Proc. of the 33rd Intl Conf on System Science, Washington, DC, 2000: 1-10.
- [2] Lindsey S and Raghavendra C S. PEGASIS: power-efficient gathering in sensor information system [C]. Proc. of the IEEE Aerospace Conf, San Francisco, 2002: 1-6.
- [3] Tan H O. Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks [C]. SIGMOD Record, New York, 2003: 66-71.
- [4] Qi Hai-rong, Xu Ying-yue, and Wang Xiao-ling. Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2003, 91(8): 1172-1183.
- [5] Zhang Shu-kui, Cui Zhi-ming, Gong Sheng-rong, and Sun Yong. Directed diffusion algorithm based on cooperative mobile agent for wireless sensor networks [C]. The 4th International Conference on Wireless Communications,

- Networking and Mobile Computing, Dalian, 2008: 1-6.
- [6] Malik H and Shakshuki E. Data dissemination in wireless sensor networks using software agents [C]. The 21st International Symposium on High Performance Computing Systems and Applications (HPCS2007), Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 2007: 28.
- [7] Ma Zhan-shan and Krings A W. Spatial distribution patterns, power law, and the agent-based directed diffusion sensor networks [C]. The 6th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Mannheim, Germany, 2008: 596-601.
- [8] Chen Min, Kwon Taekyoung, and Choi Yanghee. Data dissemination based on mobile agent in wireless sensor networks [C]. The Proceedings of the IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary (LCN'05), Sydney, Australia, 2005: 527-529.
- [9] Jeong Hee-jin, Nam Choon-sung, Jeong Yi-seok, and Shin Dong-ryeol. A mobile agent based LEACH in wireless sensor networks [C]. The 10th International Conference on Advanced Communication Technology, Phoenix Park, Korea, 2008: 75-78.
- [10] Shah P, Sivalingam K M, and Agrawal P. Efficient data gathering in distributed hybrid sensor networks using multiple mobile agents [C]. The 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops, Bangalore, India, 2008: 556-563.
- [11] 袁凌云, 王兴超, 赵艳芳, 甘健侯. 基于事件驱动和最小延迟融合路径的无线传感网络突发事件监测研究[J]. 传感技术学报, 2009, 22(9): 1312-1317.
- Yuan Ling-yun, Wang Xing-chao, Zhao Yan-fang, and Gan Jian-hou. Emergent event monitoring based on event-driven and minimum delay aggregation path in wireless sensor network. *Chinese Journal of Sensors & Actuators*, 2009, 22(9): 1312-1317.
- 袁凌云: 女, 1980 年生, 讲师, 研究方向为无线传感器网络及其应用.
- 王兴超: 男, 1979 年生, 讲师, 研究方向为移动 Agent 技术.
- 徐天伟: 男, 1970 年生, 副教授, 研究方向为 Agent 技术及知识处理.