

# Research on Adaptive Congestion and Energy Routing Protocol in Wireless Sensor Networks

Daoxia Jiang<sup>1</sup>, Wei Fu<sup>1</sup>, Shouwei Pan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Technology & Artistic Design, Jiangsu Polytechnic of Finance & Economics, Huaian

<sup>2</sup>Information Center, Huaian Administration for Industry & Commerce, Huaian

Email: [jiangdaoxiao@sohu.com](mailto:jiangdaoxiao@sohu.com), [fuweixinyu1981@163.com](mailto:fuweixinyu1981@163.com), [psw\\_psw@sina.com](mailto:psw_psw@sina.com)

Received: Feb. 11<sup>th</sup>, 2014; revised: Feb. 13<sup>th</sup>, 2014; accepted: Feb. 17<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 Daoxia Jiang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Daoxia Jiang et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** This article starts from the wireless sensor network routing protocol based on congestion control techniques, improves AODV routing protocol and proposes adaptive congestion and energy routing protocol for wireless sensor networks WSNCA-AODV. By node cache utilization, node congestion state can be determined by congestion factor. Through node congestion state, the remaining energy and distance from Sink node, node satisfaction forwarding can be determined. According to node satisfaction forwarding, the main routes and auxiliary routes can be created. When the WSN is congesting, it can proportionally split the data stream on the main routes and auxiliary routes, and achieve adaptive congestion and energy function in WSN.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks; Congestion Control; Routing Protocols; Primary Route; Auxiliary Route

## 无线传感器网络中拥塞和能量自适应路由协议研究

蒋道霞<sup>1</sup>, 傅伟<sup>1</sup>, 潘守伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>江苏财经职业技术学院计算机技术与艺术设计系, 淮安

<sup>2</sup>江苏省淮安市工商局信息中心, 淮安

Email: [jiangdaoxiao@sohu.com](mailto:jiangdaoxiao@sohu.com), [fuweixinyu1981@163.com](mailto:fuweixinyu1981@163.com), [psw\\_psw@sina.com](mailto:psw_psw@sina.com)

收稿日期: 2014年2月11日; 修回日期: 2014年2月13日; 录用日期: 2014年2月17日

**摘要:** 本文从无线传感器网络基于路由协议的拥塞控制技术入手, 改进 AODV 路由协议, 提出了拥塞和能量自适应的无线传感器网络路由协议 WSNCA-AODV。通过节点缓存利用率、拥塞因子确定节点拥塞状态; 通过节点拥塞状态、剩余能量、离 Sink 节点的距离来确定节点的转发满意度; 以节点转发满意度为依据, 创建主路由和辅助路由, 在拥塞产生时, 将数据流按比例分流在主路由和辅助路由上, 实现 WSN 的拥塞自适应和能量自适应功能。

**关键词:** 无线传感器网络; 拥塞控制; 路由协议; 主路由; 辅助路由

### 1. 引言

随着无线传感器网络(WSN)应用范围和网络规模的扩大, 节点大量部署、能源、处理能力及通信能力都受限的 WSN 在数据传输过程中经常发生拥塞<sup>[1]</sup>。

并且 WSN 多对一的通信方式造成的“漏斗效应”容易导致网络出现局部甚至全局拥塞, 造成能量消耗过快、节点失效甚至网络瘫痪<sup>[1-3]</sup>。传统的 Internet 网络和无线 Ad Hoc 网络的拥塞控制技术跟 WSN 的拥塞控

制技术的要求和设计目标完全不同,传统网络中现有的算法、规范和协议并不能适应无线传感器网络的特点和应用要求<sup>[4]</sup>。

无线传感器网络的路由协议是负责源节点到汇聚节点的路由,节点数目往往很大,且只能获取局部拓扑结构信息,路由协议要能在局部网络信息的基础上选择合适的路径<sup>[5]</sup>。由于无线传感器节点容易失效,路由协议必须考虑其容错性,通常是建立多路径路由<sup>[6]</sup>。并且无线传感器网络具有很强的应用相关性,不同应用中的通信模式组网结构不同,没有一个通用的路由协议。此外,无线传感器网络的路由机制还经常与数据融合技术联系在一起,既能减少通信量又能实现节能<sup>[5]</sup>。传统的基于拥塞检测与缓解的控制机制,拥塞解除过程时间过长,导致了链路延时的增加和节点能量的浪费<sup>[1,7]</sup>。

基于多路径的拥塞避免在数据源感知数据并传输的开始通过某种策略建立自源节点到 Sink 节点的多条传输路径,通过建立多路径,一旦网络发生拥塞,可根据每条路径的使用频度、剩余能量将流量公平的分配到多条路径上<sup>[8,9]</sup>。通过这种方式尽量避免拥塞的发生,这种方式的数据传输有利于负载均衡、延时低、可靠性好。

按网络拓扑结构图,可将 WSN 的路由协议分为平面路由与分级路由两种。在平面结构中,所有节点地位平等,不存在任何等级和层次差异。在分级结构的网络中,具有某种关联的网络节点组成簇(Cluster)。在簇内,通常有一个按一定规则选举产生的,被称为簇首的节点。除了簇首外,一般节点成员的功能比较简单,不需要维护复杂的路由信息<sup>[10]</sup>。无线传感器网络的拥塞控制技术也可基于平面路由与分级路由。

## 2. 基于路由协议的拥塞控制机制

无线传感器网络中基于路由协议的拥塞控制机制,主要采用分布式控制机制,处理的范围通常在一跳至多两跳的范围。大多采用隐式通知方法,分布式的多路径分流或速率调整能迅速缓解局部拥塞,但对于较长时间的拥塞,调控到达源端的速率较慢,单纯地局部减速,会继而引起上游节点的连锁反应,进一步恶化拥塞。综合使用两者,有助于彼此取长补短,更好为数据传输服务。流量调度的方式需要与多路径路

由相结合,建立和维护路由的开销较大,但此类协议无需降速,对保证高优先级数据的传输十分有效<sup>[11]</sup>。

### 2.1. 拥塞处理

拥塞处理就是对已经发生的拥塞进行缓解。按照它所针对的对象和处理方式的不同,可以将现有的协议划分为端到端控制机制和分布式控制机制。在网络层一般采用路径分流的分布式处理机制。多路径方式在源和目的(Sink)之间构建多条路径,通过将数据报文同时沿多条路径传输来增加数据传输的可靠性,多路径方式相对于重传方式,最大优势是延时低且有利于负载均衡。假定网络信道失败率为  $e$ ,期望可靠性(数据源产生的包被成功传输到采集点的概率)为  $r$ ,从源到目的的平均跳步数为  $h$ ,为达到期望可靠性  $r$ ,至少需要的路径数为  $N^{[8,9]}$ :

$$N = \frac{\log(1-r)}{\log(1-(1-e)^h)} \quad (1)$$

一旦检测到某条路径发生拥塞,就对进入拥塞区域的数据流进行调度,通过选择其他路径,或建立新的路径来转移流量,从而缓解拥塞。

### 2.2. 拥塞状态检测

#### 2.2.1. 参数定义

当流向一个节点的包个数超过它的承载能力时,节点变得拥塞而开始丢包。可以用节点缓冲区利用率和节点的负载因子来度量节点的拥塞程度<sup>[12]</sup>。

定义 1 节点缓存利用率  $BU$ (buffer utilization)。 $BU(i)$  表示节点  $i$  缓冲的数据量与该节点缓冲区大小的比值。该参数代表某一时刻节点数据缓存已被使用的比例,直接反映节点  $i$  的忙碌程度,  $0 \leq BU(i) \leq 1$ ,  $BU(i)$  的值越大说明节点的缓存被占用的就越多,通过此节点  $i$  进行数据传输发生拥塞的可能性越大。

定义 2 节点的拥塞因子  $CF$ (Congestion factor)。 $CF(i)$  表示节点  $i$  在下一时隙所有入口流到达速率之和与该节点链路的服务速率之比,即:

$$CF(i) = \text{efr}(i)/C(i) \quad (2)$$

$CF(i)$  反映了节点  $i$  的  $BU(i)$  值变化趋势及变化速率。

当  $BU(i) < 1$  时,若  $CF(i) \geq 1$ ,则节点  $i$  的  $BU(i)$

值会越来越大,说明数据到达的速度大于或等于流出的速度,缓冲区开始堆积,网络出现拥塞或加重拥塞;若  $CF(i) < 1$ ,则节点  $i$  的  $BU(i)$  值会越来越小,反映网络处于正常运行状态。

当  $BU(i) = 1$  时,说明缓冲区已经全部用完,节点无法继续接收数据,此时  $CF(i) = 0$ ,网络出现拥塞。

在节点  $i$  空闲时,缓冲区为空  $BU(i) = 0$ ,且所有入口到达速率之和为 0,此时  $CF(i) = 0$ 。

利用节点缓冲区利用率  $BU(i)$ 、节点的拥塞因子  $CF(i)$  可度量节点的拥塞状况。

定义 3 节点的拥塞状态  $CS(\text{Congestion State})$ 。 $CS(i)$  表示节点  $i$  的拥塞状态,根据节点  $BU(i)$  和  $CF(i)$  的值,用下式判断其三种拥塞状态<sup>[13]</sup>:

$$CS(i) = \begin{cases} 0 & BU(i) < 1 \text{ and } CF(i) \leq 1, \text{green} \\ 1 & BU(i) < 1 \text{ and } CF(i) > 1, \text{yellow} \\ 2 & BU(i) = 1 \text{ and } CF(i) = 0, \text{red} \end{cases} \quad (3)$$

1) 当  $BU(i) < 1$  时,若  $CF(i) \leq 1$  时,节点的缓冲区没有饱和,并且节点所有入口流到达速率之和不大于链路的服务速率,会进一步降低节点缓冲区的利用率,因此节点处于正常运行状态。此时  $CS(i) = 0$ ,表示一个节点处于无拥塞状态,即 green 状态。

2) 当  $BU(i) < 1$  时,若  $CF(i) > 1$ ,则节点  $i$  的  $BU(i)$  值会越来越大,节点所有入口流到达速率之和大于链路的服务速率,缓冲区开始堆积,网络出现拥塞趋势。此时  $CS(i) = 1$  表示一个节点处于轻度拥塞状态,即 yellow 状态。

3) 当  $BU(i) = 1$  时, $CF(i) = 0$ ,节点的缓冲区饱和,节点开始丢弃到来的数据。此时  $CS(i) = 2$  表示一个节点处于严重拥塞状态,即 red 状态。

定义 4 节点转发满意度(satisfactory degree of forwarding,  $F_{sd}$ )<sup>[14]</sup>。在 WSN 中,节点的转发满意度反映了其被选中作为转发节点进行数据传输优先权的大小,定义节点  $i$  的转发满意度  $F_{sd}(i)$  如下:

$$F_{sd}(i) = \frac{(CS(i) - 2)^2 E_{re}(i)}{4N(i)E_{int}(i)} \quad (4)$$

其中  $CS(i)$  是节点  $i$  的拥塞状态,  $N(i)$  是节点  $i$  到达 Sink 节点的最小跳数,  $E_{int}(i)$  和  $E_{re}(i)$  分别为节点  $i$  的初始能量和剩余能量。

节点  $i$  处于不拥塞、轻度拥塞、严重拥塞时  $CS(i)$

的值分别为 0、1、2,而节点  $i$  到达 Sink 节点的最小跳数至少 1 跳,剩余能量  $E_{re}(i)$  不大于初始能量  $E_{int}(i)$ ,可知节点转发满意度  $F_{sd}(i)$  的取值范围在 0~1 之间。离 Sink 越近、剩余能量越多、不拥塞的节点,  $F_{sd}(i)$  越大。当节点严重拥塞  $CS(i)$  值为 2 时,  $F_{sd}(i)$  为 0。

由公式(3)可知,节点转发满意度  $F_{sd}(i)$  是综合了节点的拥塞状态、剩余能量、到汇聚节点 Sink 跳数的路由度量值,可用来衡量节点多条下游路径的路由状态,体现不同路径的优先级别,可作为上游节点选择路由发送数据的判断依据。

### 2.2.2. 拥塞避免算法

本文提出的算法是将流量调度与路由选择相结合,其基本思想是:当节点需要向汇聚节点发送数据时,节点发送数据之前按需建立路由。建立路由由下一跳的依据是节点的转发满意度,选择转发满意度大的邻居作为下一跳节点,建立主路由,转发数据流,当主路由发生拥塞或能量不足时,通过建立辅助路由,以分流数据,达到缓解拥塞,提高传输效率的目的。

经典的按需距离矢量路由协议 AODV(Ad Hoc on Demand Distance Vector)协议成熟,简单而易于实现,适合无线传感器网络的应用特点;但对网络拥塞的控制不太理想,当拥塞发生时,吞吐量衰减很快<sup>[15]</sup>。下面以改进 AODV 路由协议为例,阐述基于路由协议 AODV 的拥塞控制技术<sup>[16-18]</sup>,即 WSNCA-AODV(WSN Congestion Adaptive Ad Hoc on Demand Distance Vector)协议。

## 3. 在 WSNCA-AODV 协议中建立路由

### 3.1. 建立主路由

过程如下:在路由请求(RREQ)分组中为每个节点增加一转发满意度信息。请求路由时,源节点广播路由请求(RREQ),每个收到 RREQ 分组的节点根据自己的缓冲区利用率  $BU(i)$ 、节点的拥塞因子  $CF(i)$ 、剩余能量  $E_{re}(i)$ 、到达 Sink 节点的最小跳数  $N(i)$  计算自己的转发满意度,若转发满意度不为 0,则记录上游节点的标识和转发满意度,并察看路由表中是否有到达 Sink 节点且序列号大于等于请求报文中的序列号的无拥塞路由。若无,节点记录报文并转发,若以后又收到同一报文直接丢弃,即只处理第一个到达

的路由请求;若有或节点是 Sink 节点,则发送路由应答(RREP)给源节点。如果当前节点的转发满意度为 0,就丢掉 RREQ 包。这样建立的路由称为主路由,在主路由上的节点称为主节点<sup>[19]</sup>。

主路由建立以后,即可在源端和 Sink 节点间实施通信,在通信过程中,若某个主节点检测到下一节点发生拥塞或剩余能量不足时(转发满意度为 0),要建立从该主节点到主路由上下一个绿色且能量充足的节点之间的替换路由,即辅助路由,下一个绿色且能量充足的节点是在主路由上当前节点下游至少两跳以外的第一个转发满意度大于 0 的节点。

### 3.2. 基本数据结构

主路由表: WSNCA-AODV 主路由上的每个节点维持一个路由表,并记录节点的转发满意度,其路由表结构如表 1 所示。

邻居转发满意度表: 每个节点维护一个邻居转发满意度表,记录一跳邻节点及其转发满意度。如图 1 中节点 3 的邻居转发满意度表如表 2 所示。

hello 分组: 用于在邻节点间传递自己存在和转发满意度的信息。hello 分组格式如图 2 所示。

网络中节点周期性地计算自己的转发满意度,在

Table 1. The main routing table structure in WSNCA-AODV protocol

表 1. WSNCA-AODV 协议中主路由表结构

属性	含义
Sink	汇聚节点
Sinkseq	Sink 序列号
nhop	下一跳节点
nhopF <sub>sd</sub>	下一跳节点转发满意度
hcnt	到 Sink 的跳数
expire	路由条目的生存期

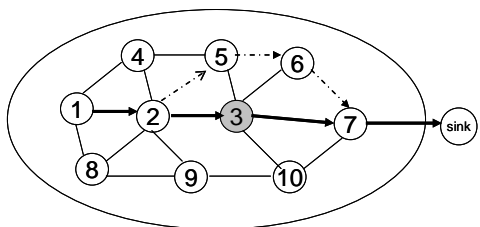


Figure 1. Generates auxiliary routing “2→5→6→7” when node 3 congests

图 1. 节点 3 拥塞产生辅助路由 “2→5→6→7”

自己直接通信范围内周期性地广播 TTL = 1 的 hello 消息,保证每个邻节点能时刻掌握一跳范围内邻节点拥塞和能量情况,维护邻居转发满意度表。

当主路由上的一个节点收到一个数据包时,检查自己的路由表,若发现下一跳转发满意度为 0,就建立一条辅助路由以绕过拥塞或能量耗尽的下一跳。如图 1 所示,若主路由为 “1→2→3→7→Sink”,当节点 3 拥塞或能量耗尽时,节点 2 建立辅助路由 “2→5→6→7”。

要建立绕过拥塞或能量耗尽节点的辅助路由,最关键的问题是要找到主路由上的下一个转发满意度不为 0 的节点。在 WSNCA-AODV 协议中,从节点的主路由表中,只能得到当前节点下一跳节点信息,而当下一跳节点拥塞或能量耗尽时,需要找到当前节点下游至少两跳以外的转发满意度不为 0 的节点 nghop。然后以当前节点为源节点,以节点 nghop 为目的节点,建立一条辅助路由。

### 3.3. 建立辅助路由

#### 3.3.1. 寻找主路由上节点 nghop

当前节点产生 nghop 请求分组(NGRQ),为了避

Table 2. Node 3 neighbor forwards satisfaction table

表 2. 节点 3 邻居转发满意度表

节点	转发满意度	跳数
3	0	0
2	0.3	1
7	0.8	1
5	0.4	1
6	0.5	1
9	0.4	1
10	0.5	1

类型	保留字段
	Sink 节点 IP 地址
	Sink 节点序列号
	跳数(为 1)
	自身 IP 地址
	自身转发满意度

Figure 2. Hello packet format  
图 2. hello 分组格式

免 NGRQ 分组被拥塞或能量耗尽节点丢弃,把 NGRQ 设置较高优先级, NGRQ 分组的格式如图 3 所示,其中 nghcnt 初始时设为 0。

NGRQ 分组沿着主路由向下游节点传送,若接收到 NGRQ 的主节点处于拥塞或能量耗尽状态,将 NGRQ 分组中的 nghcnt 加 1,查询主路由表,将 NGRQ 分组转发到下一主节点;若接收到 NGRQ 的主节点转发满意度不为 0,即为要找的 nghop 节点,将该主节点的 IP 地址填入“nghop IP 地址”域,设置类型域,构建 nghop 节点响应分组 NGRP,沿逆向路径发送到辅助路由源节点 bsrc,完成 nghop 的请求工作,并得到当前节点与 nghop 之间的跳数 nghcnt。NGRP 分组格式如图 4 所示。

### 3.3.2. 建立辅助路由

寻找到 nghop 节点以后,以当前节点为源节点, nghop 节点为目的节点,启动 WSNCA-AODV 协议的路由建立过程:节点查询自己的邻居转发满意度表,找到当前节点的转发满意度最高的且为非主节点的邻节点,以  $TTL = 2 \times nghcnt$  广播 RREQ 分组,保证建立的辅助路由除了在起点和终点处外,与主路由不相交。每个辅助路由上的节点维护一个辅助路由表,结构如表 3 所示。

### 3.3.3. 流分割和拥塞适应

现在一个节点的辅助路由已经建立,到达该节点

类型	标志	保留字段	nghcnt
NGRQ 标识			
Sink IP 地址(主路由目的节点 Sink)			
nghop IP 地址(转发满意度不为 0 的节点)			
bsrc IP 地址(辅助路由源节点)			

注: nghcnt—从辅助路由源节点到接收到 NGRQ 的节点距离。

Figure 3. Nghop node request (NGRQ) packet format  
图 3. Nghop 节点请求(NGRQ)分组格式

类型	标志	保留字段	nghcnt
nghop IP 地址(下一转发满意度不为 0 的节点)			
bsrc IP 地址(辅助路由源节点)			

注: nghcnt—从辅助路由源节点到接收到 NGRQ 的节点距离。

Figure 4. Nghop node response (NGRP) packet format  
图 4. Nghop 节点响应(NGRP)分组格式

Table 3. The auxiliary table structure in WSNCA-AODV routing protocol

表 3. WSNCA-AODV 协议中辅助路由表结构

属性	含义
Sink	汇聚节点
bsrc	辅助路由源节点
nghop	辅助路由的目的节点(在主路由上)
bnhop	辅助路由上的下一跳节点
bF <sub>sd</sub>	辅助路由转发满意表
nghcnt	辅助路由的目的节点离当前节点跳数

的数据流可以分流在主路由和辅助路由上。如图 1,假设主路由上的节点 2,源节点和目的节点分别是 1 和 Sink,节点 3 变拥塞或能量耗尽时,其转发满意度为 0,从节点 2 的辅助路由“2→5→6→7”已建立。分割进入节点 1 的数据流,沿主链路 2→3 以概率  $p = 0.5$  转发,其余以同样概率沿辅助路由 2→5 转发,转发概率为  $1 - p = 0.5$ ,因此,数据流分割能有效减轻下一主节点的拥塞状况,从而达到拥塞适应功能。

考虑网络的动态性,为了适应节点的拥塞和能耗状态,概率  $p$  按下一主节点和辅助路由的转发满意度周期性调整,辅助路由的转发满意度是该路由上所有节点的转发满意度的最小值,只要辅助路由上有一个节点拥塞或能量耗尽,就认为辅助路由无效。基本观点是:如果主链路节点趋于不拥塞或能量较强状态就增加主链路流量,增加概率  $p$ ,而减少辅助路由的流量。

### 3.3.4. WSNCA-AODV 路由维护

为了保持协议负载小,WSNCA-AODV 努力使用最小化多路径。如果  $p$  接近 1.0,这意味着下一主节点转发满意度高,或辅助路由转发满意度很低,此时,删除辅助路由,以节省节点开销。如果  $p$  接近 0,这意味着下一主节点转发满意度很低,或辅助路由转发满意度很高,断开主链路,将辅助路由变为主链路,并将这一决定告知相关节点。为了更进一步减少多路径使用,保持协议简单,WSNCA-AODV 只许节点用一条辅助路由。

网络中的节点周期性地在自己直接通信范围内广播  $TTL = 1$  的 hello 消息。如果在规定的几个周期内,没有收到某个主节点发出的任何信息,则认为该节点

在链路中失效,发生了断路。检测到断路的节点要向上游节点发送路由出错分组 RRER,上游节点可选择一条辅助路由,或启动路由建立进程建立一条辅助路由,转发收到的数据包,依次类推,直到发生严重错误,路由出错分组 RRER 被发送到源节点,源节点再重新启动主路由建立进程。如果节点收到一个新的邻节点发送来的 hello 消息,则在自己的邻居转发满意度表中增加一条记录。

#### 4. 拥塞自适应和能量自适应路由协议的进一步应用

本文提出的 WSNCA-AODV 协议,是一个适用于无线传感器网络的拥塞与能量自适应路由协议,是对无线传感器平面路由协议改进的一个示例,根据这种方法,可对平面型路由协议在路由建立过程中考虑节点拥塞和能耗状态,构建健壮的路由,在主路由发生拥塞和路径能量耗尽时,可重建一条辅助路由来均衡负载。

针对层次型的分簇路由协议,对于簇首与簇内节点构成的簇内网络,各节点与簇首距离近,可直接通信,用 TDMA 共享信道,采用直接序列扩频进行通信,簇首通过信标实现簇内时间同步<sup>[20]</sup>。由汇聚节点 Sink 和所有簇首组成的簇间网络,簇首累积簇内数据,并通过 CSMA/CA(carrier sense multiple access with-collision avoidance)方式竞争信道,多跳将数据转发至基站,在网络层构建路由时可以应用本文提出的拥塞和能量自适应算法 WSNCA-AODV,即 WSNCA-AODV 适用于簇间网络。

#### 基金项目

中国高等职业技术教育研究会“十二五”规划课题(GZYLX2011243),江苏省中小企业应用软件工程技术研究开发中心(JH10-42),江苏省教育厅高校哲社课题(2013SJB880016),淮安市科技支撑计划(HAG

2010049、HAG2013068、SN12048)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 谭敏生,姚亮,常泓等 (2011) WSN 中基于多路由的拥塞控制算法. *南华大学学报(自然科学版)*, 2, 55-58.
- [2] 叶进,杨婧 (2011) 基于定向扩散的无线传感器网络拥塞控制方法. *桂林电子科技大学学报*, 1, 1-4.
- [3] 孙利民,李波,周新运 (2008) 无线传感器网络的拥塞控制技术. *计算机研究与发展*, 1, 49-58.
- [4] 孙国栋,廖明宏 (2008) 无线传感器网络能源有效的拥塞控制算法. *传感技术学报*, 6, 1034-1038.
- [5] 谭励 (2011) 无线传感器网络理论与技术应用. 机械工业出版社,北京.
- [6] 张莉,李金宝 (2011) 无线传感器网络中基于多路径的可靠路由协议研究. *计算机研究与发展*, 增刊, 171-175.
- [7] 李路伟,杨洪勇 (2013) 无线传感器网络自适应拥塞控制的路由算法分析. *上海理工大学学报*, 3, 215-220.
- [8] 李姗姗,廖湘科,朱培栋等 (2008) 无线传感器网络中一种拥塞感知的多路径流量分配算法. *计算机工程与科学*, 3, 86-88, 109.
- [9] Deb, B., Bhamagar, S. and Nath, B. (2003) ReInForm: Reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks. *The 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, Bonn, 20-24 October 2003.
- [10] 彭静,刘光祜,谢世欢 (2007) 无线传感器网络路由协议研究现状与趋势. *计算机应用研究*, 2, 4-9.
- [11] 刘辉宇,王建新,周志 (2009) 无线传感器网络拥塞控制技术研究进展. *计算机科学*, 5, 7-11, 59.
- [12] 张吉赞 (2014) 无线传感器网络中基于多路径的拥塞控制策略. <http://www.doc88.com/p-389943720021.html>
- [13] 赵成林,谭虎,毛松 (2012) 利用路径优先级实现传感器网络中的拥塞避免. *北京邮电大学学报*, 1, 15-18.
- [14] 郝晓辰,贾楠,刘彬 (2011) 基于拥塞预知的 WSN 多径寻优路由协议. *电子与信息学报*, 5, 1262-1265.
- [15] 杨俊刚,史浩山,段爱媛等 (2011) 基于流量预报的无线传感器网络自适应拥塞控制路由协议. *应用科学学报*, 2, 124-128.
- [16] Perkins, C.E. Belding-Royer, E. and Das, S. (2003) Internet RFC3561-2003, Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing.
- [17] Raghavendra, H. (2006) Congestion adaptive routing in mobile Ad Hoc networks. *IEEE Transactions on Parallel Distributed Systems*, IEEE Press, Piscataway, 1294-1305.
- [18] Ramesh, B. and Manjula, D. (2008) CA-AODV: Congestion adaptive AODV routing protocol for streaming video in mobile Ad Hoc networks. <http://www.SciRP.org/journal/ijcns>
- [19] 蒋道霞,刘凤玉 (2009) Ad Hoc 网络中基于 AODV 的拥塞适应路由协议. *南京理工大学学报(自然科学版)*, 4, 411-416.
- [20] 孙东旭,曹建福,郑辑光 (2012) 面向工业测控的无线传感器网络分簇路由算法. *信息与控制*, 6, 780-788.