

# 一种面向无线视频传感器网络的多径 QoS 保障路由协议

卓 力,张 菁,赵 ■ ■,刘志兴

(北京工业大学信号与信息处理研究室,北京 100124)

**摘 要:** 针对无线视频传感器网络网络带宽有限、网络拓扑结构动态不稳定的特点,以及视频传输对实时性的要求,设计并实现了一种面向 WWSN 的多径 QoS 保障路由协议-EDQMR 协议,该协议不仅考虑了跳数、时延、节点之间的距离等约束条件,也同时将节点剩余能量作为约束条件,以路径能量的消耗最小为代价函数进行最优路径的选择,不仅考虑单个节点的能耗,也均衡了整个网络的能耗.仿真结果表明,与现有的 AOMDV 协议相比,在时延满足需求的前提下,本文提出的 EDQMR 协议可以显著提高数据包的传输成功率,并能有效延长网络的工作寿命.

**关键词:** 无线视频传感器网络; QoS 保障; 多径; 路由协议

**中图分类号:** TP393.02      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2013) 06-1122-08

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.06.013

## A QoS-Guaranteed Multi-Path Routing Protocol for WWSNs

ZHUO Li, ZHANG Jing, ZHAO Ying-di, LIU Zhi-xing

(Signal & Information Processing Lab, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** For the bandwidth limitation and unstable network topology in wireless video sensor networks(WWSNs), an energy-efficient, distance-aware and QoS-guaranteed multi-path routing(EDQMR) protocol for WWSNs is proposed in this paper. The optimum routing is selected in the protocol comprehensively considering constrains such as delay, the maximum hop distance and the node residual energy. Simulation results show that when delay requirements are met, compared to existing protocol AOMDV, the proposed EDQMR can significantly enhance the packet delivery ratio while prolonging the network lifetime.

**Key words:** WWSNs; QoS-guaranteed; multi-path; routing protocol

### 1 引言

在网络动态、不稳定的环境中如何保障图像/视频传输所需的服务质量(QoS, Quality of Service)是无线视频传感器网络(Wireless Video Sensor Networks, WWSN)研究中的一个热点问题<sup>[1]</sup>.目前,针对无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)的QoS保障路由协议的研究成果虽然较多,但是面向WWSN的研究成果则相对较少.与WSN相比,WWSN网络面对的是图像/视频数据,而图像/视频数据量大,处理复杂,且视频传输对时延有着严格的要求<sup>[2]</sup>.因此现有的面向WSN网络设计的路由协议往往无法满足WWSN网络应用的需求,需要根据WWSN网络的具体特点设计相应的路由协议.

OEDSR(Optimized Energy-Delay Sub-network Routing)<sup>[3]</sup>是一种基于簇的分层结构QoS路由协议.该协议面向典型的目标检测应用,以节点能量和端对端的时延为代价来选择最优路径,从而保证能量的高效利用和传输的时延最小.但该协议在选择中继簇头节点时,会向周围通信范围内的所有节点广播Hello数据包,并且要接收所有节点的应答数据包,因此控制开销大,如果在单径路由中,关键的簇头节点失效,则传输的可靠性无法得到保障.

QAODV(QoS Ad Hoc On Demand Distance Vector)<sup>[4]</sup>协议是对AODV<sup>[5]</sup>协议的一种改进.该协议对AODV路由协议的路由表以及RREQ和RREP报文进行扩展,通过增加附加信息来实现QoS路由.这种方式有效地减少了路由控制开销,但同时也增加了路由建立和修复的时

收稿日期:2011-12-27;修回日期:2013-01-24

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(No. NCET-11-0892);国家自然科学基金(No. 60772069, No. 61003289, No. 61100212);北京市自然科学基金(No. 4102008);北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(No. CIT&TCD201304036);高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20121103110017)

间,因此适用于规模较小的网络. AOMDV<sup>[6]</sup>是在 AODV 路由协议的基础上提出的一种按需多径路由协议. 该协议在路由发现过程中生成多条从源节点到目的节点的无环、不相交路径,在引入少量开销的情况下,有效地增加了网络传输的可靠性,均衡了网络负载,减少了端到端延时,大大改善了路由性能. 其缺点是仅考虑将跳数最小作为路由的判断条件,而没有考虑到能耗问题.

针对 WWSN 网络带宽有限、网络拓扑结构动态不稳定的特点以及视频传输对 QoS 的需求,本文设计并实现了一种面向 WWSN 的多径 QoS 保障路由协议-EDQMR 协议,该协议综合考虑跳数、时延、节点间的距离以及节点剩余能量等约束条件,以路径的能量消耗最小为判据来进行路由最优化选择.

## 2 面向 WWSN 的路由协议设计原则

与 WSN 网络不同,WWSN 网络面对的是海量的图像/视频数据. 图像/视频数据有其特殊的自然属性,对传输的时延、带宽、丢包率等均有比较严格的要求<sup>[7]</sup>. 另外,WWSN 网络节点的能量供应非常有限,且网络中图像/视频传输的数据量巨大. 因此,在设计路由时,在保障 QoS 的前提下,除了单个节点要节能之外,整个网络也要均衡不同节点之间的能量消耗,以最大限度地延长整个网络的工作寿命.

关于 WWSN 的网络寿命我们采用文献[8]的定义:从 WWSN 部署到第一个传感器节点因能量耗尽而失效为止的这段时间定义为网络寿命. WWSN 网络寿命与网络节点的能耗直接相关,由于网络中图像/视频传输数据量巨大,设计路由时网络的能耗问题变得尤为重要.

根据以上的 WWSN 路由设计原则,本文设计了一种能量有效、距离感知 QoS 保障多径路由协议(Energy-efficient, Distance-aware & QoS-guaranteed Multi-paths Routing),以下简称 EDQMR 协议. 该协议不仅综合考虑了跳数、时延、跳间传输距离等约束条件,也重点考虑了节点的剩余能量,以路径能量的消耗最小为代价函数进行最优路径的选择,不仅考虑单个节点的能耗,也均衡了整个网络的能耗,目的是在保障 QoS 的前提下,最大限度地延长整个网络的工作寿命. 接下来,本文将详细介绍 EDQMR 协议的设计与实现过程.

## 3 面向 WWSN 的多径 QoS 保障路由 EDQMR 协议的设计

本文将从 WWSN 数据传输模型、不相交多径策略、路径选择更新代价函数、路由请求、路由回复数据包以及节点缓存路由表等方面介绍 EDQMR 协议的理论依据和设计过程.

### 3.1 WWSN 数据传输模型

WWSN 采用的是一种短距离的多跳传输方式,而传输能耗是 WWSN 网络节点能量消耗最大的环节之一. 本文将首先介绍 WWSN 链路传输可靠性模型和能耗三角不等式,为能量有效的最优节点选择提供理论依据.

#### 3.1.1 链路损耗模型

在 WWSN 数据包传输过程中,无线信道的衰落效应会造成不同程度的丢包现象. 数据包的反复重传将导致不必要的带宽资源占用和能量消耗,也会增加图像/视频数据传输的时延. 从数据包投递率、时延、能量效率等 QoS 需求方面看,由于 WWSN 节点的资源受限,传统的仅依据最小跳数作为判据的路由选择方式将导致极低的数据传输效率. Busse 等<sup>[9]</sup>定义了两个传感器节点间无线通信的链路传输可靠性模型,如式(1)所示.

$$\text{PRR}(d) = \begin{cases} 1, & d < D_1 \\ \left[ \frac{d - D_1}{D_2 - D_1} + X \right]_0^1, & D_1 \leq d \leq D_2 \\ 0, & d \geq D_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $[t]_a^b = \max\{a, \min\{b, t\}\}$ ,  $X$  是一个高斯正态分布随机变量,  $X \sim N(0, \sigma)$ . PRR(Packet Reception Rate)为数据包的接收率;  $D_1, D_2$  均表示进行通信的两个传感器节点之间的距离门限. 公式(1)表示,当两个通信节点之间的距离  $d$  小于  $D_1$  时,节点处于全连通状态,PRR 的值为 1;当  $d$  大于  $D_2$  时,节点处于非连通状态,节点间无法进行数据传输,PRR 值为 0;当两通信节点间距离  $d$  介于  $D_1$  与  $D_2$  之间时,PRR 随着距离  $d$  的增大而降低. 从上述链路传输可靠性模型可以看出,两个节点之间的通信距离越远,则丢包的可能性越大.

#### 3.1.2 传输能耗模型

文献[10]表明,在 WSN 中,无线传输的能耗与传输距离的 2~4 次方成正比. 也就是说,通信距离越远,则能耗越大. 同时,研究结果表明,WSN 中的能耗通常不满足所谓的三角不等式<sup>[7]</sup>. 如图 1 中所示,  $A, B, C$  三个节点构成了一个三角形的拓扑结构,对于节点  $A, B$  之间的通信来说,通过两条短路径  $a, b$  传输所消耗的能

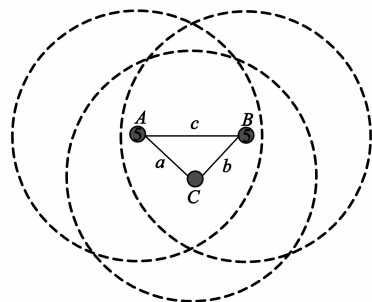


图1 能耗三角不等式模型

量要小于通过长路径  $c$  直接传输所消耗的能量. 因此, 单从能耗的角度看, 跳数少的路由不一定性能最优.

### 3.2 不相交多路径设计

#### 3.2.1 多路径数目的选择

多路径路由中的路径数目  $\text{Max\_Paths}$  的设置是为了限制路由回复 RREP 的爆炸似增长, 路径数量并不是越多越好, 文献[11]证明了超过 3 条的冗余路径会增大路由的发现和维持开销, 导致边际效应. 当  $\text{Max\_Paths}$  为 2 或者 3 时, 能在开销有限的情况下极大地提高网络路由性能; 而当  $\text{Max\_Paths} = 2$  时, 网络节点平均能耗更小, 网络的工作寿命更长. 因此, 出于节能的考虑, 本文将  $\text{Max\_Paths}$  设置为 2, 即采用一主一备的主从式路由结构.

#### 3.2.2 路径独立性分析

多路径的不相交特性能够有效保证路径各自相互独立, 互不影响. 当主路径中断导致路由失败时, 可以采用与主路径不相交的备用路径来替代主路径, 从而有效提高传输的连续性. 路径不相交有两种实现方案, 一种是节点不相交 (node disjoint), 另一种是链路不相交 (link disjoint).

节点不相交路由, 又可称为完全不相交路由, 是指除了共享源节点以及目的节点外, 各路径间没有任何其他的共享节点, 又称为完全不相交路由. 如图 2 所示, 源节点  $S$  与目的节点  $D$  之间的路径  $SABD$ 、 $SCD$ 、 $SEFD$  都是节点不相交路由. 链路不相交路由是指源节点与目的节点之间没有共用的链路, 但是可能有相同节点, 如图 2 所示. 源节点  $S$  与目的节点  $D$  之间有不相交路径  $SACBD$ 、 $SECFD$  或者  $SACFD$  和  $SECBD$ , 其中节点  $C$  为链路共享节点.

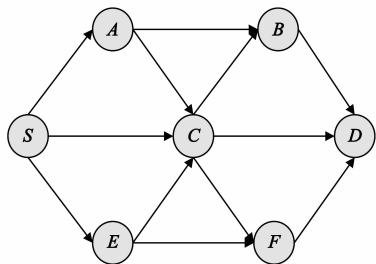


图2 路径不相交示意图

节点不相交路由比链路不相交路由要求更为严格. 由于各路径间没有共享的节点和链路, 当节点不相交路径可以保障路径发生故障或中断时, 各路径间独立不相关, 因此容错能力强, 形成的多个路径也更为可靠. 但由于其要求高, 网络中能形成节点不相交的路径较少, 只适用于节点分布密度大的无线网络. 而链路不相交则能产生较多的路径, 如果由于共享节点出现故障, 导致路由中断, 则会造成备用路径也同时失效, 起

不到保护作用. 因此, 本文采用的是节点不相交路径 (node disjoint).

### 3.3 路径选择更新代价函数的设计

在无线多跳网络中, 不少路由算法 (如 AODV<sup>[5]</sup>, AOMDV<sup>[6]</sup>等) 采用跳数最少作为最优路径的判决条件. 图 3 为传统的以跳数最少作为最优路径选择判据的路由选择的例子.

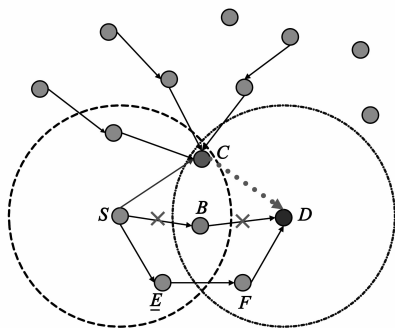


图3 传统的跳数最少路由协议备用路由选择

源节点  $S$  与目的节点  $D$  通信, 路径  $SBD$  为所选择的主路径, 路径  $SCD$  的跳数为 2 跳, 而路径  $SEFD$  的跳数为 3 跳. 如果以跳数最小作为判决条件, 那么将选择路径  $SCD$  作为备用路径. 然而, 这种路径选择方式会导致如下问题:

- (1) WWSN 中节点  $C$  承载了多条数据传输的转发负荷, 造成信道冲突, 数据在节点  $C$  的链路层排队等待, 形成网络拥塞, 会极大地增加发送数据到目的节点  $D$  的端对端时延, 造成数据包的丢失;
- (2) 跳间链路  $SC$ 、 $CD$  之间的距离较远, 数据传输的成功率低, 会造成数据包的反复重传, 时延较大, 并且丢包严重;
- (3) 中间节点  $C$  节点长期负载, 能耗严重, 节点能量会迅速耗光, 从而导致链路中断.

因此, 单纯以跳数最小作为判决条件选择路径  $SCD$  作为备份路由并不理想, 应综合考虑其它因素, 才能有效保障备用路径的有效性和可靠性. 为此, 与现有的以跳数最小作为路径选择依据不同, 本文以路径的能量消耗最小作为代价函数, 不仅综合考虑了跳数、时延与节点之间的传输距离等约束条件, 还将节点的剩余能量也作为一种约束条件, 在满足 WWSN 图像/视频压缩码流传输 QoS 需求的前提下, 使得网络能量消耗最小, 最大限度地延长网络的工作寿命.

上述的最优路径选择问题可以用下面的数学模型表示:

$$\min \sum_i E_i \quad \text{s.t.} \begin{cases} \sum_i \text{hop}_i \leq \text{hop}_T \\ \sum_i D_i \leq D_T \\ d_{\max} \leq d_T \\ E_{\text{res}} \geq E_T \end{cases} \quad (2)$$

其中  $E_i$  表示路径中第  $i$  节点消耗的能量;  $\text{hop}_i$  表示第  $i$  跳,  $\text{hop}_T$  表示可允许的路径跳数, 本文将  $\text{hop}_T$  设置为 3;  $D_i$  为路径第  $i$  条链路的时延;  $D_T$  为网络传输时延的上限值, 可以根据网络需求进行调节, 本文设置为允许路径进行 2 次数据重传所带来的累积延时;  $d_{\max}$  为路径中的最大跳间距离;  $d_T$  为跳间距离的阈值, 本文设定  $d_T = 0.9 * d_{\text{scale}}$ ,  $d_{\text{scale}}$  为节点的最大通信范围。

### 3.4 路由请求 RREQ 数据包、路由回复 RREP 数据包以及节点缓存路由表的设计

借鉴 AOMDV<sup>[6]</sup> 协议中采用的路由请求 (RREQ, Route Request)、路由回复 (RREP, Route Reply) 数据包以及节点路由表的思路, 本文在设计路由协议时, 添加了最小剩余节点能量 Energy\_Min 以及路径累积时延 Delay\_Sum 以及路径中最大跳间距离 Distance\_Max 三个选项. 修改后的节点缓存路由表、RREQ 数据包以及 RREP 数据包的结构如表 1-3 所示。

表 1 EDQMR 节点缓存路由表

目的 IP 地址	目的序列号	广播跳数	路径列表
下一跳 <sub>1</sub> 下一跳 <sub>2</sub> .....	最后一跳 <sub>1</sub> 最后一跳 <sub>2</sub> .....	跳数 <sub>1</sub> 跳数 <sub>2</sub> .....	过期时间 <sub>1</sub> 过期时间 <sub>2</sub> .....
最小能量 <sub>1</sub> 最小能量 <sub>2</sub> .....	累积时延 <sub>1</sub> 累积时延 <sub>2</sub> .....	最大跳间距离 <sub>1</sub> 最大跳间距离 <sub>2</sub> .....	

表 2 路由请求 RREQ 消息格式

类型 RREQ_Type	预留 RREQ_Reserved	跳数 RREQ_Hop_Count
路由请求广播 ID(RREQ_Bcast ID)		
目的节点 IP 地址(RREQ_Dst)		
目的节点序列号(RREQ_Dst Seqno)		
源节点 IP 地址(RREQ_Src)		
源节点序列号(RREQ_Src Seqno)		
路由请求发送时间戳(RREQ_Timestamp)		
路径最小节点剩余能量(RREQ_Energy_Min)		
路径累积时延(RREQ_Delay_Sum)		
路径最大跳间距离(RREQ_Distance_Max)		

表 3 路由效应 RREP 消息格式

类型 RREP_Type	预留 RREP_Reserved	跳数 RREP_Hop_Count
目的节点 IP 地址(RREP_Dst)		
目的节点序列号(RREP_Dst Seqno)		
源节点 IP 地址(RREP_Src)		
生存期(RREP_Lifetime)		
相对应 RREQ 发送时间戳(RREP_Timestamp)		
相对应 RREQ 广播 ID(RREP_Bcast ID)		
路由回复发送第一跳(RREP_First Hop)		
路径最小节点剩余能量 RREP_Energy_Min		
路径累积时延 RREP_Delay_Sum		
路径最大跳间距离 RREP_Distance_Max		

## 4 面向 WWSN 的多径 QoS 保障路由 EDQMR 协议的实现

EDQMR 协议借鉴了经典的多径路由协议 AOMDV<sup>[6]</sup> 的思想, 主要包括路由发现和路由维护两个过程. 在路由发现的初始化过程中, 通过在 WWSN 中洪泛发送路由请求 RREQ, 找到目的节点后沿着 RREQ 的路径建立反向路径, 并发送路由回复 RREP 数据包, 对于最先到达源节点的 RREP 包来说, 由于其经过的路径跳数最小、时延最短, 因此被选为主路由来发送数据包. 同时, 将第二个抵达的 RREP 包经过的路径则作为备份路由保存. 一旦找到更优的路径, 则会更新路由表, 替换备用路径。

在路由维护过程中, EDQMR 协议通过向路径节点发送 HELLO 数据包, 探测路径是否有效. 当到达目的节点的一条路径断链时, 目的节点将产生一个 RRER 数据包, 并向邻居节点传播该 RRER 包. 这时, 本文将启动备用路径来重传这些数据包. 当备用路由也发生故障时, 则重新启动路由发现过程。

本文提出的 EDQMR 协议采用与 AOMDV 协议相同的路由维护过程, 在此不再赘述. 本文重点对路由发现的过程进行了设计, 接下来将详细介绍路由的发现过程和路由表选择更新算法的实现。

### 4.1 EDQMR 协议的路由发现过程

EDQMR 协议的路由发现过程如图 4 所示. 路由发现由路由请求和路由响应两个过程构成. 本文提出的路由发现过程的步骤如下:

**步骤 1** 当源节点  $S$  需要与目的节点  $D$  进行通信时, 源节点  $S$  首先检查缓存路由表中是否有可达目的节点  $D$  的有效路由, 若有主路由, 则经过此路由向目的节点  $D$  发送数据; 若没有, 则将 RREQ 包中节点的最小剩余能量 Energy\_Min 初始化为节点原始总能量 Energy\_Original, 累积时延 Delay\_Sum 初始化为 0, 路径跳间最大距离 Distance\_Max 初始化为 0. 向所有邻居节点洪泛广播路由请求 RREQ 包, 并等待路由回复 RREP 包, 启动路由发现过程;

**步骤 2** 当中间节点  $i$  接收到第一个 RREQ 数据包的复制包时, 检查路由表中有没有到源节点  $S$  的反向路径, 若没有, 则创建一条反向路径, 记录 Energy\_Min、Delay\_Sum 以及 Distance\_Max 的值. 若存在反向路径, 则更新上述三个值;

**步骤 3** 执行路径更新算法, 判断此 RREQ 包所查找的路径是否是新的路径, 是否优于节点  $i$  中存储的路径, 如果满足这两个条件则插入路由列表或者替换原备用路径;

**步骤 4** 判断此节点  $i$  的缓存路由表中是否存在

通向目的节点  $D$  的有效路径,若不存在,则向邻居节点转发 RREQ 包;若存在有效路径,则根据 RREQ 探测信息,生成一个路由回复 RREP,将中间节点  $i$  通向节点  $D$  的有效路径接入节点  $i$  至源节点  $S$  的反向路径中,形成从目的节点  $D$  到源节点的完整反向路径,并通过单播方式经由反向路径发送给源节点  $S$ ;

**步骤 5** 中间节点  $j$  接收到路由回复 RREP 数据包后,更新 RREP 包中的  $Energy\_Min$ 、 $Delay\_Sum$  以及  $Distance\_Max$  等数值;

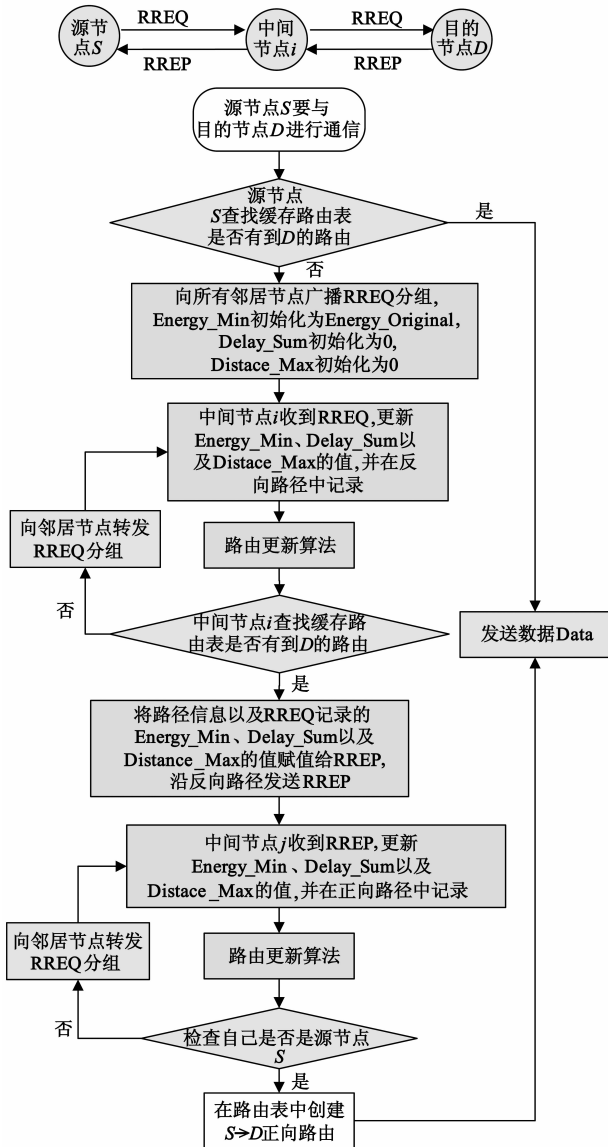


图4 路由发现过程

**步骤 6** 执行路由选择更新算法. 节点  $j$  接收 RREP 包后执行的路由选择更新算法与接收 RREQ 包后执行的路由更新算法相似,只是对 RREP 包中记录的信息作为判断依据;

**步骤 7** 节点  $j$  检查自己是否为源节点  $S$ ,若不是,

则继续沿 RREP 反向路径转发 RREP 数据包.若此节点为源节点  $S$ ,则根据 RREP 反向路径信息,创建源节点  $S$  至目的节点  $D$  的正向路径,保存在路由列表中;

**步骤 8** 源节点  $S$  通过通向目的节点的有效正向路径,向目的节点  $D$  发送数据,完成通信过程.

## 4.2 EDQMR 路由选择更新算法

本文提出的节点路由选择更新算法的流程图如图 5 所示,下面介绍算法的具体实现过程:

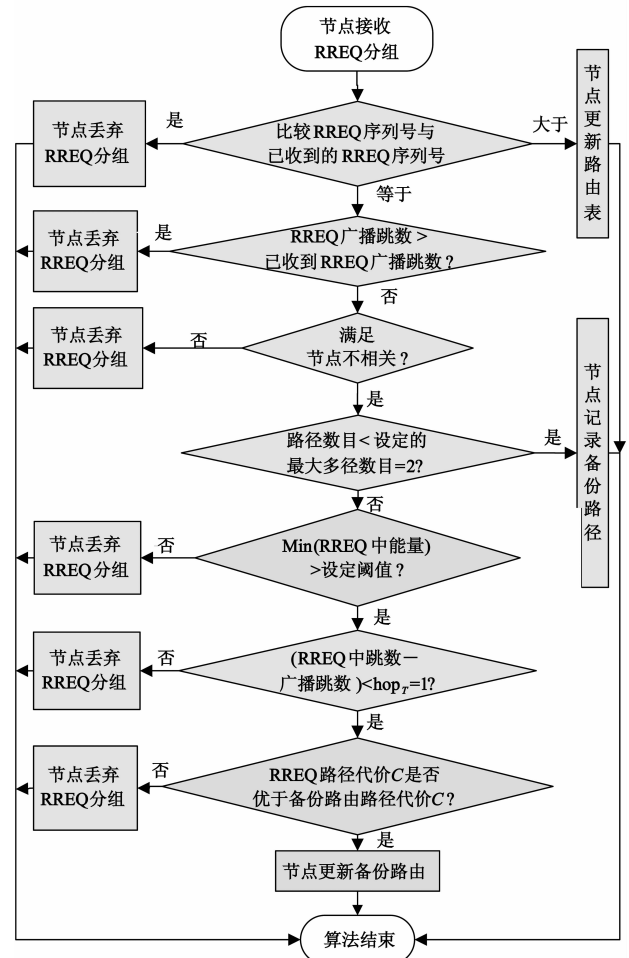


图5 EDQMR路由更新算法流程

(1)RREQ 序列号比较:节点  $i$  收到相邻节点  $j$  向目的节点  $D$  发送的 RREQ 包后,首先判断 RREQ 所携带的序列号  $Advertised\_hopcount_j^D$  是否大于节点  $i$  之前已经收到的目的节点为  $D$  的 RREQ 序列号  $Seq\_num_i^D$ ,若小于,则说明节点接收的 RREQ 数据包已过时,丢弃 RREQ 包;否则说明节点接收到更新的 RREQ 包,更新路由表,同时算法结束.若相等,执行下一步;

(2)RREQ 广播跳数比较:当  $Seq\_num_j^D = Seq\_num_i^D$  时,判断相邻节点  $j$  的 RREQ 包中的广播跳数  $Advertised\_hopcount_j^D$  是否大于节点  $i$  已收到 RREQ 中的广播跳数  $Advertised\_hopcount_i^D$ ,若大于,则说明此 RREQ

路径较长,可能出现环路,此时丢弃 RREQ 包,同时算法结束;否则执行下一步;

(3)路径不相交判断:判定收到 RREQ 包中形成的备份路径是否与节点路由表中的主路径形成不相交路径.在此选择节点不相交的多路径,通过判断下一跳 Next\_hop 以及最后一跳 Last\_hop 的唯一性来保障多条路径的节点不相交性.若节点相交,则丢弃 RREQ 包,同时算法结束.否则若节点不相交,执行下一步;

(4)多路径数目判断:判断节点路由表中是否已经找到所需数目的路径,正如前面的分析,出于节能方面的考虑,在此设定多路径数目  $Max\_Paths = 2$ . 当节点路由表中存储的路径数目  $Rt\_Num\_Paths < 2$  时,则说明该节点没有找到所需数目的路径,因此插入 RREQ 记录的新路径作为备份路径,同时算法结束.否则当  $Max\_Paths = 2$  时,执行下一步;

(5)路径中节点最小剩余能耗判断:设定一最小剩余能量率作为门限阈值  $T$ , 本文将  $T$  设定为 5%. 当  $Energy\_Min/Energy\_Original < T$  时,丢弃 RREQ 包,同时算法结束;否则执行下一步操作.这是一种预警的抢先式判定.当 RREQ 采集到的路径剩余能量低于一定限度时,则主动放弃该路径,以避免网络中单个节点的能量迅速消耗光;

(6)路径限定条件判断:根据式(2),确定多约束条件下能量消耗最小的路径.然后用该最优路径替换节点  $i$  中原有的备份路径,完成路径的更新过程,算法结束.

需要说明的是,由于路由选择更新过程会消耗一定的能量,如果绝大部分节点剩余能量均接近阈值时,由于能耗原因,已经无法重新启动路由选择过程,此时可利用现有的路由协议进行通信,直到网络的能量消耗殆尽.

## 5 仿真实验和结果分析

### 5.1 EDQMR 协议仿真环境以及参数配置

为了验证本文提出的 EDQMR 路由协议的性能,本文在 NS2 环境下进行了仿真实验.实验时采用的是 Linux 操作系统 Ubuntu10.10,仿真环境为 ns-2.34 版本.仿真场景范围为  $1000m \times 1000m$ ,利用场景产生器 Setdest 随机产生 50 个无线视频传感器节点,且这些节点都设置为静止.其他的仿真参数设置如下:视频传感器节点通信距离为 250m,传输数据的能耗为 0.66W,接收数据的能耗为 0.35W,休眠时的能耗为 0.035W,节点能量初始值设为 20J.每次仿真将 0 节点选为 Sink 节点,其初始能量设置为 1000J.CBR 数据包大小为 512byte,MAC 层协议设置为 802.11 协议,带宽设置为 1Mbps,无线电

传输模型采用 TwoRayGround 模型;天线采用 OmniAntenna 全向天线;仿真时间为 200s.NS2 仿真过程动画截图如图 6 所示.

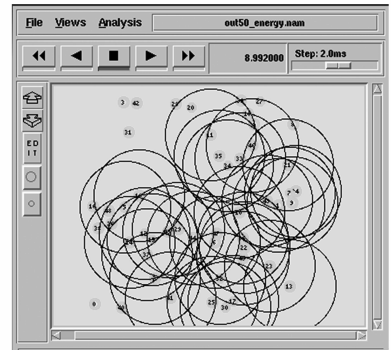


图6 网络拓扑仿真演示

### 5.2 EDQMR 仿真结果以及性能评价

本文分析比较了不同的节点连接数目、不同数据包发送速率的情况下,数据包传输成功率以及网络工作寿命等性能指标,并将提出的 EDQMR 路由协议与 AOMDV 协议进行了对比.图 7 和图 8 所示的是在不同的连接数和数据包发送速率下,分别采用两种路由协议得到的数据包传输成功率对比结果.实验结果为 10 次不同场景下求取结果的平均值.

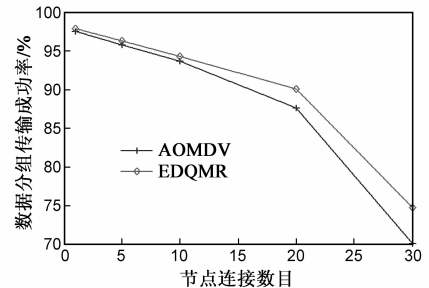


图7 不同连接数的数据包传输成功率对比

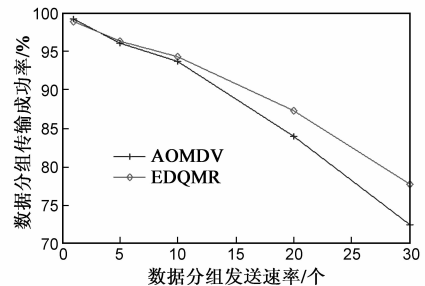


图8 不同数据包发送速率下数据包传输成功率对比

从图 7 中可以看出,随着 WWSN 网络中节点连接数目的增多,网络中数据包的传输成功率逐渐下降,这是由于随着连接数的增多,节点间共用带宽资源,容易发生信道冲突,造成数据包传输成功率的下降.从图 8 可以看出,随着数据包发送速率的增加,网络中数据包的

投递成功率也呈下降趋势,这是由于网络带宽有限,随着数据包发送速率的增加,使得更多的数据包在队列中排队等待,造成了数据包的丢弃.这两种情况下,本文所提 EDQMR 路由协议的数据包传输成功率都要优于 AOMDV 协议.这是因为本文提出的 EDQMR 协议考虑了传输距离的限制,从而能够尽可能地将丢包率控制在一个较小范围,并且选择剩余能量多的节点作为备用路由,比单纯利用跳数判定的路由有更好的稳定性,因而数据包传输成功率高.

图 9 和图 10 所示的是在不同的连接数和数据包发送速率下,分别采用两种路由协议得到的网络工作寿命的对比结果.

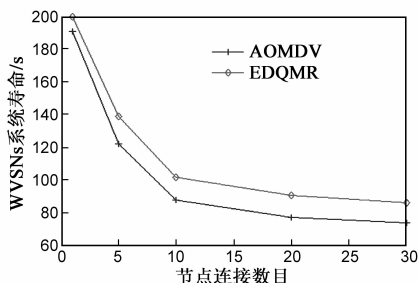


图9 不同连接数的网络工作寿命对比

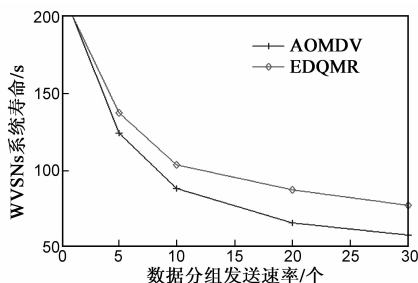


图10 不同数据包发送速率下网络工作寿命对比

从图 9 和图 10 可以看出,随着网络中节点连接数量的增加以及数据包发送速率的增大,网络的工作寿命会随之减少,网络中需要发送更多的数据包,导致节点的能量消耗增加,并且节点会发送数据包来维护路由,也进一步增加了网络能量的开销.本文所提出的 EDQMR 路由协议的网络工作寿命比 AOMDV 协议的网络工作寿命更长,这是由于本文 EDQMR 协议中采用的路由选择更新算法在主路径节点能量耗尽前做了抢先告警判断,提前使用备用路径进行数据的传输,加入了通信距离的约束条件,使得跳间距离更加均匀,排除了长路径的数据传输所导致的反复重传而耗费节点能量的情况,从而节省了能耗.另外,由于采用路径能量消耗最小作为路径选择的判据,也有效地均衡了能耗,从而延长了网络的工作寿命.

## 6 结论

本文面向 WWSN 设计了一种能量有效、距离感知、

QoS 保障的多径路由协议-EDQMR 协议,其中重点对 EDQMR 协议中的路由发现过程以及路由的选择更新算法进行了设计.本协议不仅综合考虑了跳数、时延、路径最大跳间距离等约束条件,还将节点的剩余能量也作为约束条件,以路径能量消耗最小作为最优路径的选择依据.网络仿真结果表明,与 AOMDV 协议相比,本文所提出的 EDQMR 协议可以获得更优的性能,在满足传输时延需求的前提下,数据包传输成功率得到了提高,网络工作寿命得以延长.

## 参考文献

- [1] 孙岩,马华东.无线多媒体传感器网络 QoS 保障问题[J].电子学报,2008,36(7):1412-1420.  
Sun Y, Ma H D. The QoS guarantee problem for wireless multimedia sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(7):1412-1420. (in Chinese)
- [2] Wang M, Hong R C, Li G D, et al. Event driven Web video summarization by tag localization and key-shot identification[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2012, 14(4): 975-985.
- [3] Ratnaraj S, Jagannathan S, Rao V. OEDSR: Optimized energy-delay sub-network routing in wireless sensor network[A]. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference Networking, Sensing and Control[C]. Florida: IEEE Computer Society Press, 2006. 1-14.
- [4] Zhu C X, Scott C M. QoS routing for mobile ad hoc networks[J]. INFOCOM, 2002, 6(2):958-967.
- [5] Perkins C E, Royer E M. Ad Hoc on demand distance vector routing[A]. Proceedings of the 1999 IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications[C]. New Orleans: IEEE Computer Society Press, 1999. 90-100.
- [6] Marina M K, Das S R. On demand multipath distance vector routing for ad hoc networks[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols[C]. Vancouver, Canada: IEEE Computer Society Press, 2001. 14-23.
- [7] 周灵,王建新.无线多媒体传感器网络路由协议研究[J].电子学报,2011,39(1):149-156.  
Zhou L, Wang J X. Research on routing protocol in wireless multimedia sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(1):149-156. (in Chinese)
- [8] Wu H M, Abouzeid A A. Energy efficient distributed JPEG2000 image compression in multihop wireless networks[J]. Applications and Services in Wireless Networks, 2005, 28(14):1658-1668.
- [9] Busse M, Haenselmann T, et al. An energy-efficient forwarding scheme for wireless sensor networks[A]. Proceedings of the 2006 International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks[C]. Buffalo, New York: IEEE Com-

puter Society Press, 2006. 125 – 133.

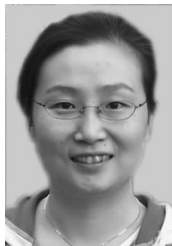
- [10] Tan H O, Korpeoglu I. Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks [J]. ACM SIGMOD Record, 2003, 32 (4): 66 – 71.

- [11] Pham P P, Perreau S. Performance analysis of reactive shortest path and multi-path routing mechanism with load balance [A]. Proceedings of IEEE INFOCOM [C]. San Francisco: IEEE Computer Society Press, 2003. 251 – 259.

### 作者简介



卓 力 女, 1971 年 10 月出生, 江苏徐州人. 博士, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为图像/视频信号处理、编码与传输, 网络多媒体处理, 无线视频传感器网络等; 出版专著 3 部, 译著 2 部, 发表学术论文 150 余篇.  
E-mail: zhuoli@bjut.edu.cn



张 菁 女, 1975 年 2 月出生, 广东梅县人. 博士, 副教授, 硕士生导师. 主要研究方向为图像/视频信号与信息处理等; 出版专著 1 部, 译著 1 部, 发表学术论文 60 余篇.  
E-mail: zhj@bjut.edu.cn

赵 ■ ■ 女, 1988 年出生, 北京人. 在读硕士生, 研究方向为无线传感器网络.