

MR2-GRADE: 一种基于梯度值的无线传感器网络 高效多径干扰避免路由协议

刘 权, 王晓东

(国防科学技术大学并行与分布处理国防科技重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘 要: 无线传感器网络的径间干扰是多径路由亟待解决的重要问题, 然而目前干扰避免策略的设计忽略了无线传感器网络最关心的能耗问题. 本文提出基于梯度的 MR2-GRADE 路由协议框架, 利用已建路径上各节点到目的节点的跳数构造干扰范围外节点的网络梯度, 有效避免传统广播方式的高路由开销. 针对基于梯度的局部路由决策导致后续路径创建成功率受网络节点分布密度影响较大的问题, 设计了基于梯度的贪婪转发算法 GRADE_GF 和受限泛洪算法 GRADE_RF. 仿真实验结果表明: 与已有的同类多径干扰避免路由相比, 基于 MR2-GRADE 协议框架的路由可有效降低路由开销, 随着网络规模扩大, 优势越明显.

关键词: 无线传感器网络; 并行多径路由; 径间干扰; 梯度

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 3A-147-06

MR2-GRADE: A High Energy Efficiency and Interference-free Multipath Routing Protocol Based on Grade for Wireless Sensor Network

LIU Quan, WANG Xiao-dong

(National Key Laboratory for Parallel and Distributed Processing, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Inter-path interference of Multipath routing in wireless sensor networks (WSNs) is a most important problem which needs to be solved urgently. However, energy cost, concerned most in WSNs, is ignored by current interference-free schemes. The grade-based routing protocol framework MR2-GRADE (Maximally Radio-Disjoint Multipath Routing based on Grade) proposed in this paper uses hops of nodes in leading path to construct grade of nodes beyond interference zone of this path and avoids high route cost caused by broadcasting efficiently. The creation of subsequent path by grade-based local decision-making policy is affected by node distributing density of network greatly, which results in designing GRADE_GF (Grade-based Greedy Forwarding) and GRADE_RF (Grade-based Restricted Flooding). Comprehensive simulations and results indicate that compared with existed homologous routing algorithms, MR2-GRADE can decrease route cost effectively and can hold this advantage more obviously in more large-scale network.

Key words: wireless sensor network; parallel multi-path routing; inter-path interference; grade value

1 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSNs) 作为 21 世纪最重要的技术之一^[1], 以及未来深刻影响人类生活的十大技术之首, 越来越广泛的应用于人们生活的方方面面. 随着人们需求的提高, 无线多媒体传感器网络^[2] (Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs) 的出现, 使得支持提供数据传输 QoS 保障的多径路由协议^[3] 成为研究的热点.

多径路由径间干扰是提高路由性能亟待解决的问题. 目前径间干扰避免机制可以分为两类: (1) 基于干扰度量的干扰避免机制: 目前代表性的干扰度量有 ETX^[4]

(Expected Transmission Count metric), ETT^[5] (Expected Transmission Time metric) 和 WIM^[6] (Weighted Interference Multipath metric). 干扰度量反应了节点受干扰程度, 由于网络拓扑动态性, 干扰度量的建立需要周期性向全网发送探测报文, 能耗高; (2) 基于干扰区域的干扰避免机制: 目前采用该机制的代表性路由协议有 MR2 协议^[7] 和 I2MR 协议^[8]. 采用在已建路径干扰区域之外建立后续新路径的方式实现多径干扰避免, 消除周期性发送网络探测报文的弊端, 但是后续路径采用广播寻径仍然面临能耗过高的不足.

本文对基于干扰区域的干扰避免机制进行分析, 在此基础上提出了基于梯度的 MR2-GRADE 协议框架, 避

免后续路径采用广播寻径方式导致路由开销过高. 通过仿真分析, MR2-GRADE 在能效上要高于文献[7,8]中所提路由协议.

2 MR2-GRADE 协议框架

2.1 基于干扰区域的干扰避免机制原理

MR2 协议和 I2MR 协议的原理相同, 仅在干扰半径定义上不同. 我们以 MR2 协议为例阐述基于干扰区域的干扰避免机制原理.

MR2 协议通过三个步骤(见图 1)建立多条干扰避免路径:(1)通过广播 RREQ 分组建立起第一条路径;(2)标记该已建路径周围干扰区域内的节点, 构造路径干扰区域;(3)在路径干扰区域外再次广播 RREQ 分组, 建立后续路. 第(3)步采用广播寻径是 MR2 协议路由开销过高的主要原因.

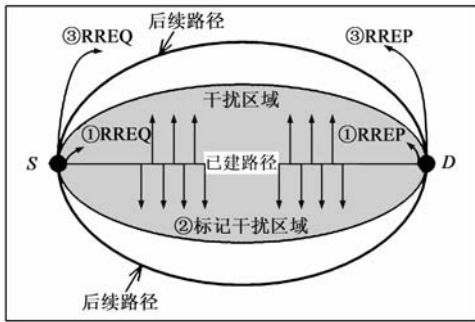


图1 基于干扰区域的干扰避免机制原理图

2.2 网络梯度

2.2.1 网络梯度及相关定义

源节点若无任何寻径辅助信息, 则只能依靠广播方式在全网范围内寻找目的节点. 一条已建路径上的节点会在路由表中保存到目的节点的跳数信息, 不同的跳数揭示了它们到目的节点的远近关系. 在图 2 中, 已建路径上的不同节点将自己到目的节点的跳数值一跳广播后, 在路径周围形成以跳数值表征的梯度区域(图中灰度级递减区域), $Hop(S)$ 表示节点 S 到达节点 D 的跳数, $GD(S)$ 表示节点 S 周围节点的梯度, 沿梯度降低的方向寻找目的节点, 给源节点提供了寻径辅助信息.

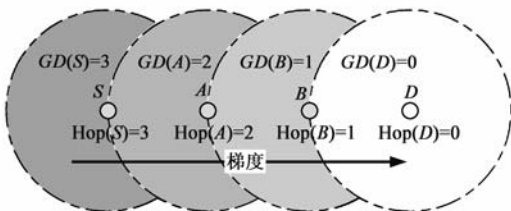


图2 梯度示意图

定义 1(梯度): 路径周围的节点获取路径上多个节点到目的节点跳数的最小值.

利用图 $G < V, E >$ 对无线传感器网络建模, $V = \{n_i | n_i \text{ 为 } G \text{ 中节点}\}$ 代表网络中所有节点构成的集合, n_s 为源节点, n_d 为目的节点, $E = \{ < n_i, n_j > | n_i, n_j \text{ 之间存在链路且 } n_i \in V, n_j \in V \}$ 代表网络中所有链路构成的集合. $path_i$ 代表路径 i , 其所有中间节点构成集合 $IM_i = \{ n_j^i | n_j^i \in V \text{ 且 } < n_s, n_j^i > \cup \{ < n_j^i, n_{j+1}^i > \} \cup \{ < n_j^i, n_d > \} \subseteq E, 1 \leq j \leq N-1, N \text{ 为路径跳数} \}$, $PATH_i = \{ n_i | n_i \in \{ n_s \} \cup \{ n_d \} \cup IM_i \}$ 表示 $path_i$ 上所有节点构成的集合, 令已建路径为 $path_f$.

定义 2(路径区域): $P_A = PATH_f = \{ n_s \} \cup \{ n_d \} \cup IM_f$.

定义 3(干扰区域): $I_A = \{ n_i | < n_i, n_j > \in E \text{ 且 } n_i \notin P_A, n_j \in P_A \}$.

定义 4(候选区域): $G_A = \{ n_i | < n_i, n_j > \in E \text{ 且 } n_i \notin P_A \cup I_A, n_j \in I_A \}$.

候选区域内创建后续路径与路径区域的已建路径相隔干扰区域, 以达到实现径间干扰避免的目的.

2.2.2 构造网络梯度

用三元组 $< zone_id, grade, grade_changed >$ 标记节点状态: $zone_id$ 表示节点所处区域, 用 0, 1, 2 分别表示路径区域, 干扰区域和候选区域; $grade$ 表示节点的梯度值; $grade_changed$ 表示节点的梯度值是否发生改变. 节点初始状态为 $< -1, -1, FALSE >$, 网络梯度构造具体过程如下:

(1) 创建首条路径: 网络初始阶段没有任何辅助信息指导路径创建, 只能采用广播 RREQ 分组方式建立源和目的节点之间的第一条路径. 目的节点只对最先到达的 RREQ 分组反馈 RREP 分组建立路径, 路径上节点的状态信息为 $< 0, -1, FALSE >$, 丢弃后续到达的 RREQ 分组. 首条路径建立后, 源节点用自己 $zone_id$, 路由表中的 hop 值(即梯度 $grade$)和延迟时间 T_{delay} 构造 MARK 报文, 准备标记干扰区域. 延迟时间 T_{delay} 保证干扰区域和候选区域内节点在获取所有邻居节点提供的梯度后, 确定自己的梯度, 以确保网络梯度建立的正确性.

(2) 标记干扰区域: 从源节点开始, 已建路径上节点按序一跳广播 MARK 消息标记干扰区域. 路径上的下一跳邻居节点接收到 MARK 信息后, 构造新的 MARK 消息并一跳广播出去, 依次进行直到目的节点. 非路径上的节点接收到 MARK 消息后, 根据 MARK 消息更新自己的状态信息.

(3) 标记候选区域: 干扰区域中的节点延迟 T_{delay} 后, 用自己的状态信息构造新的 MARK 消息, 并一跳广播标记候选区域. 未被标记的节点(即 $zone_id = -1$)接收干扰区域节点一跳广播的 MARK 消息后, 根据消

息更新自己的状态信息并不再向外一跳广播 MARK 消息,只做简单丢包操作。

干扰区域和候选区域标记见算法 1. 已建路径两跳范围内节点的梯度区域如图 3 所示,节点下方数字表示节点到目的节点的跳数,尖括号二元组含义为 $\langle zone_id, grade \rangle$,细箭头表示节点两跳范围, $I_A(S)$ 和 $G_A(S)$ 表示以节点 S 跳数值作为梯度值标记的干扰区域和候选区域。

算法 1 干扰区域和候选区域标记伪码

recvMARK(Packet * p)

```

1 Get the MARK Header  $hdr\_header * im$  from Packet *  $p$ ;
2 IF  $zone\_id$  equals - 1
3      $zone\_id = im \rightarrow zone\_id + 1$ ;
4      $grade = im \rightarrow grade$ ;
5     setMARK_Timer( CURRENT_TIME +  $im \rightarrow delay$  );
6 ELSE IF  $zone\_id$  equals 0 and  $im \rightarrow zone\_id$  equals 0
7     IF  $grade < im \rightarrow grade$ 
8         Construct new MARK with (  $zone\_id, hop, im \rightarrow grade$  );
9     Broadcast new MARK with TTL = 1;
10 ELSE IF  $zone\_id > im \rightarrow zone\_id$ 
11     IF  $grade > im \rightarrow grade$ 
12          $grade = im \rightarrow grade$ ;
13          $grade\_changed = TRUE$ ;
14 FREE( $p$ );
```

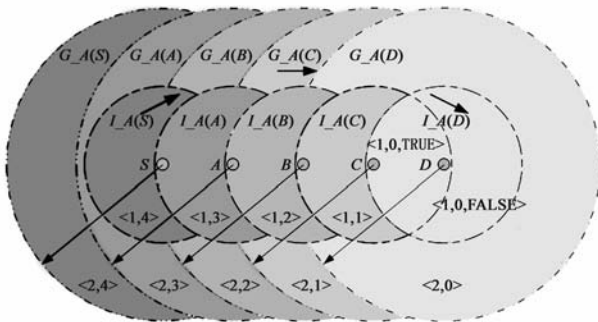


图3 已建路径两跳范围内梯度区域示意图

3 基于梯度的路径创建算法设计

3.1 基于梯度的路径创建分析

网络中节点通过 HELLO 报文交互,掌握自己一定范围内节点的梯度信息,最终在候选区域内创建一条与已建路径无径间干扰的后续路径.节点根据掌握的网络局部梯度信息构造下一跳候选节点集,使得路径创建成功率受网络可达性,或者说是受网络节点疏密程度影响大。

创建跳数为 N 的后续路径,需要路径上节点进行 N 次下一跳候选节点集构造,令 p_m 为从路径上第 m 个节点所构造的下一跳节点候选集中选择对目的节点可

达节点的概率,则成功创建后续路径的概率为:

$$P_i = \prod_{m=1}^N p_m \quad (1)$$

由式(1)知后续路径创建成功率 P_i 是 N 个不大于 1 的 $p_m (1 \leq m \leq N)$ 乘积,提高 P_i 的途径是减少跳数 N 并同时提高 $p_m (1 \leq m \leq N)$ 。

节点掌握的梯度信息范围越广,越利于减少路径跳数 N 和提高 $p_m (1 \leq m \leq N)$,但是需要交互的 HELLO 报文次数增多,路由开销增大.为让节点能掌握两跳范围内节点的梯度以及邻居节点的连通度,HELLO 报文交互梯度信息过程如下:

(1) 节点将自身的 $zone_id$ 、 $grade$ 以及 $grade_changed$ 通过 HELLO 报文发送给邻居节点。

(2) 当接收到所有邻居节点的 $zone_id$ 和 $grade$ 之后,节点计算 $zone_id = 2$ 的所有邻居 $grade$ 的最小值 $minigrade$,以及 $zone_id = 2$ 的所有邻居中 $grade = minigrade$ 的节点数目 $num_minigrade$ 。

(3) 节点将计算所得 $minigrade$ 和 $num_minigrade$ 通过 HELLO 报文发送给邻居节点。

通过 HELLO 报文交互,节点 n_i 得到其候选区域内任意一个邻居节点 n_j 的 $grade_j$, $minigrade_j$ 和 $num_minigrade_j$ 值,后两个数据是 n_j 的一跳范围内最小的邻居节点的梯度和数量的统计信息,对 n_i 而言该统计值是两跳范围内节点的梯度信息, $num_minigrade$ 反映了候选节点 n_j 的连通度。

3.2 路径创建算法设计

网络节点稀疏会出现本地最小化^[9]和对目的节点不可达的下一跳候选节点,降低路径创建成功率;网络节点稠密虽然网络可达性好,但需考虑路由开销.针对网络节点稠密和稀疏情况,设计基于梯度的贪婪转发路径创建算法 GRADE_GF 和基于梯度的受限泛洪路径创建算法 GRADE_RF。

3.2.1 GRADE_GF

GRADE_GF 算法采用贪婪转发的思想实现单路寻径,单路寻径能够在网络节点稠密情况下兼顾路径创建成功率和路由开销.贪婪指标为最小化梯度,每次选取梯度值最小的邻居节点构造下一跳候选节点集,保证所选节点尽量离目的节点距离近,达到减少路径跳数的目的. GRADE_GF 算法构造下一跳节点候选集的步骤如下:

(1) n_i 选 $zone_id = 2$, $grade$ 最小且 $minigrade$ 小于 $grade_i$ 的邻居节点构造下一跳节点候选集.用 $minigrade$ 小于 $grade_i$ 作选择条件,能够选到和自己梯度相同的邻居节点,达到绕空洞的目的。

(2) $min_minigrade$ 是 n_i 所有 $zone_id = 2$ 的邻居中

$minigrade$ 的最小值. n_i 从步骤 (1) 所构造候选集中选 $minigrade = \min_minigrade$ 的邻居节点构造下一跳节点候选集.

(3) $maxnum_minigrade$ 是 n_i 所有 $zone_id = 2$, 且 $minigrade = \min_minigrade$ 的邻居中 $num_minigrade$ 的最大值. n_i 从步骤 (2) 所构造候选集中进一步遴选候选集, 所选节点满足 $num_minigrade = maxnum_minigrade$.

3.2.2 GRADE_RF

GRADE_RF 算法采用受限泛洪的思想实现多路寻径, 达到在网络节点稀疏情况下既限制泛洪规模又能并行多路寻径提高寻径成功率的目的. 通过在路由请求报文 RREQ 中增加两个限制因子域 $NG_Threshold$ 和 $MinG_Threshold$ (见定义 5 和 6), 约束广播转发 RREQ 的节点数. GRADE_RF 是由 RREQ 报文接收节点根据限制因子决定自身能否成为 RREQ 报文转发节点, 而 GRADE_GF 算法是由发送节点决定下一跳转发节点.

定义 5 ($NG_Threshold$): 即 HELLO 报文交互阶段所得 $minigrade$ 值, 是参与报文转发的下一跳节点梯度值不能超越的阈值.

定义 6 ($MinG_Threshold$): 即 HELLO 报文交互阶段, 所有邻居 HELLO 报文中 $minigrade$ 的最小值 $\min_minigrade$. 是参与报文转发的下一跳节点, 其邻居节点梯度值的最小值不能超过的阈值.

用 $GRADE(A)$ 表示节点 A 的梯度值, $Neighbor(A)$ 表示节点 A 的邻居节点集合, $MIN_NGRADE(A)$ 表示节点 A 所有邻居节点梯度的最小值. 节点 A 参与路由请求报文转发需要同时满足如下条件:

$$(1) \text{GRADE}(A) \leq NG_Threshold$$

$$(2) \text{MIN_NGRADE}(A) < \text{MinG_Threshold}$$

当节点 A 同时满足上述两个条件时, 根据下面策略更新接收到的 RREQ 报文相应域并广播转发:

(1) $\min(\{GRADE(n) | n \in Neighbor(A)\})$ 值更新 $NG_Threshold$ 域.

(2) $\min(\{MIN_NGRADE(n) | n \in Neighbor(A)\})$ 值更新 $MinG_Threshold$ 域.

3.2.3 路由开销分析

广播算法创建后续路径的 MR2 协议与采用 GRADE_GF 算法的 MR2-GRADE(GF) 协议和采用 GRADE_RF 算法的 MR2-GRADE(RF) 协议在创建首条路径上的开销相同, 在此只比较分析创建后续路径的路由开销.

假设网络范围为边长 L 的正方形区域, 网络中节点分布均匀且密度为 ρ , 后续路径跳数为 N , 节点传输范围为 R .

MR2 协议的路由开销包括全网广播 RREQ 报文数

和目的节点反馈 RREP 报文数, 则

$$\text{cost}(MR2) = RREQs + RREPs = \rho L^2 + N \quad (2)$$

MR2-GRADE(GF) 和 MR2-GRADE(RF) 协议需在路径区域和干扰区域 (见图 3) 内交互 MARK 报文和在候选区域内两次交互的 HELLO 报文.

$$MARKs = \rho(\pi R^2 + 2R * NR) = \rho(\pi + 2N)R^2 \quad (3)$$

$$HELLOs = 2\rho[\pi(2R)^2 + 4R * NR - (\pi R^2 + 2R * NR)] = \rho(6\pi + 4N)R^2 \quad (4)$$

$$\text{cost}(MR2\text{-GRADE}(GF)) = (MARKs + HELLOs) + RREQs + RREPs \quad (5)$$

$$= \rho(7\pi + 6N)R^2 + N + N$$

$$= \rho(7\pi + 6N)R^2 + 2N$$

MR2-GRADE(RF) 协议的 RREQ 报文数近似看成在候选区域广播 RREQ 报文数.

$$\begin{aligned} \text{cost}(MR2\text{-GRADE}(RF)) &= (MARKs + HELLOs) + RREQs + RREPs \\ &\leq \rho(7\pi + 6N)R^2 + \rho(6\pi + 4N)R^2 + N \\ &= \rho(13\pi + 10N)R^2 + N \end{aligned} \quad (6)$$

在大规模网络环境下, 路由开销表达式所含平方项使得 MR2-GRADE 协议能效优势明显.

4 仿真实验

4.1 衡量指标

以路由开销、路径创建成功率和路径跳数差值作为指标, 对基于 MR2-GRADE 协议框架的路径创建算法进行性能评价. 多径的跳数差别太大会影响多径传输的性能, 跳数差值反映了基于梯度的路径创建算法提高多径传输性能的能力.

路由开销 = 创建后续路径的控制报文数

路径创建成功率 = $\frac{\text{路径成功创建次数}}{\text{单个场景仿真实验次数}}$

路径跳数差值 = 后续路径跳数 - 已建路径跳数

4.2 场景设置

模拟场景设为一个正方形区域, 区域长 L 和宽 W 都为 1000m, 依次设置静止节点数目 N 从 100 到 1000, 以步长 100 建立 10 个不同网络规模, 网络拓扑由 NS2 场景生成器产生. 调整节点发射功率, 使节点传输半径 R 为 100m. 设置 CBR 流发送率 CBR_{rate} 为 100packet/s, 每个包大小 S 设为 1024bit. 模拟时间 t 设为 20s, 每次模拟将源节点和目的节点的坐标固定为 (400, 350) 和 (600, 650).

MR2-GRADE 协议中, 参数 T_{delay} 是与广播创建第一条路径延迟有关的量, 我们设定 T_{delay} 为源节点到目的节点的传输延迟, 即 $0.5RTT$ (Round Trip Time):

$$T_{delay} = \text{CURRENT_TIME} - rp \rightarrow rp_timestamp \quad (7)$$

CURRENT_TIME 表示源节点接收到 RREP 报文的时刻, $rp \rightarrow rp_timestamp$ 为目的节点反馈 RREP 报文时

的所加的时间戳.

4.3 仿真结果

4.3.1 验证实验

以 GRADE_GF 算法为例,改变其实现条件,验证两跳范围节点梯度 *minigrade* 和 *num_minigrade* 对路径创建成功率和路径跳数性能的影响,设计 GRADE_GF 三个变种算法:GRADE_GF(1N)算法中节点只有一跳邻居节点梯度信息;GRADE_GF(1)算法只实现 GRADE_GF 的第一步;GRADE_GF(2)算法实现 GRADE_GF 的前两步.

从图 4 和图 5 可以看出,基于一跳范围节点梯度的 GRADE_GF(1N)虽然在路径跳数差值性能上要比基于两跳范围节点梯度的 GRADE_GF 算法好,但是过低的路径创建成功率说明基于一跳范围节点梯度的算法是不可取的.GRADE_GF(2)算法用 *minigrade* 最小值能够遴选离目的节点最近的候选节点,使得路径跳数低于 GRADE_GF(1)算法,而 GRADE_GF 算法用 *num_minigrade* 最大值遴选候选节点,使该候选节点离目的节点更近.说明采用两跳范围节点梯度的 GRADE_GF 通过掌握更大范围内节点梯度信息提高了路径创建成功率.

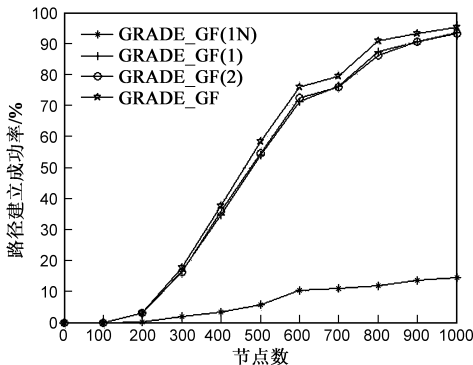


图4 验证路径创建成功率

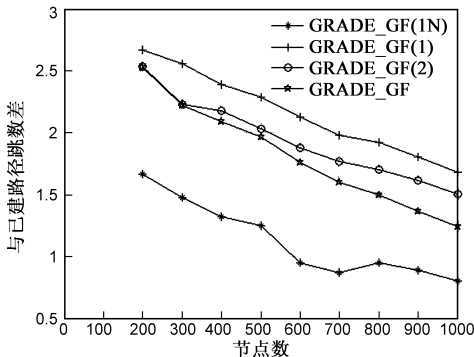


图5 验证路径跳数差值

4.3.2 对比实验

MR2-GRADE(GF)表示采用 GRADE_GF 算法的 MR2-GRADE 协议;MR2-GRADE(RF)表示采用 GRADE_RF 算法的 MR2-GRADE(RF)协议.对比基于 MR2-GRADE 框架的协议与 MR2 协议的路径建立成功率和路由开销.

从图 6 和图 7 中可以看出,采用梯度思想创建后续路径的 MR2-GRADE 协议在路由开销上与采用广播算法创建路径的 MR2 协议相比,占明显优势.在节点分布稀疏情况下,MR2-GRADE(RF)路由开销略高于 MR2-GRADE(GF),但路径创建成功率优势明显;而在节点分布稠密情况下,MR2-GRADE(GF)路径创建成功率略低于 MR2-GRADE(RF),但路由开销优势明显.说明 MR2-GRADE(GF)和 MR2-GRADE(RF)适用于网络节点分布稠密和稀疏的情况.

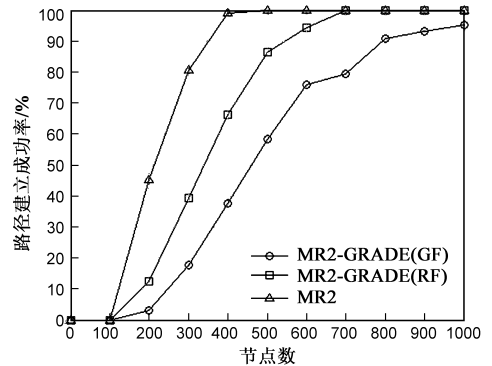


图6 对比路径创建成功率

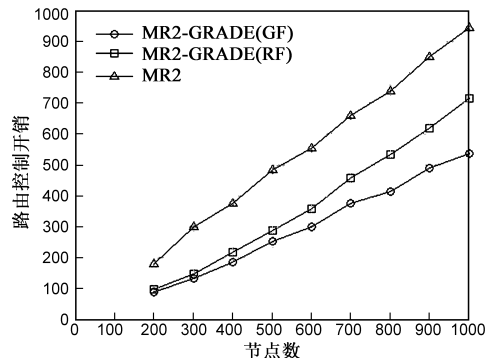


图7 对比路由开销

5 总结

本文针对目前多径干扰避免机制对能效考虑的不足,提出了基于梯度的 MR2-GRADE 协议框架.MR2-GRADE 协议框架充分挖掘已建路径的信息,利用已建路径上节点到目的节点的跳数在路径周围区域建立梯度,为后续路径的创建采用非广播方式提供条件.与目前采用广播方式创建后续路径的协议相比,利用梯度信息指导创建后续路径的 MR2-GRADE 协议在能效上优势明显.

参考文献

[1] Ian F Akyildiz, Su W, Cayirci E. . A survey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102 - 114.
 [2] Ian F Akyildiz, Tommaso Melodia, Kaushik R. Chowdhury. A survey on wireless multimedia sensor networks [J]. Computer

Networks, 2007, (51): 921 – 960.

- [3] Sasan Adibi, Shervin Erfani. A multipath routing survey for mobile Ad-hoc networks [A]. IEEE Communication Society Subject Matter Experts for Publication in the Proc. of IEEE CCNC [C]. Las Vegas: Nevada, 2006. 984 – 988.
- [4] D S J De Couto, D Aguayo, J Bicket, R Morris. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing [A]. In Proc of the 9th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking [C]. San Diego: California, 2003. 134 – 146.
- [5] R Draves, J Padhye, B Zill. Routing in multi-radio, Multi-hop wireless mesh networks [A]. Proc of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking [C]. Philadelphia: Pennsylvania, 2004. 114 – 128.
- [6] J Tsai, T Moors. Interference-aware multipath selection for reliable routing in wireless mesh networks [J]. In Mesh Tech IEEE, 2007. 1 – 6.
- [7] Moufida Maimour. Maximally radio-disjoint multipath routing for wireless multimedia sensor networks [A]. The 4th ACM International Workshop on Wireless Multimedia Networking and Performance Modeling [C]. Vancouver: British Columbia, 2008. 26 – 31.
- [8] Jenn-yue Teo, Yajun Ha, Chen-khong Tham. Interference-minimized multipath routing with congestion control in wireless

sensor network for high-rate streaming [J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2008, 7(9): 1124 – 1137.

- [9] 吴震东, 李善平. 无线传感器网络自适应并发多路由算法 [J]. 电子学报, 2007, 35(9): 1696 – 1701.
- Wu Zhen-dong, Li Shan-ping. A parallel multi-path algorithm for adaptive routing in wireless sensor networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(9): 1696 – 1701. (in Chinese)

作者简介



刘 权 男, 1985 年出生于湖南华容. 硕士, 主要研究领域为无线传感器网络、Ad-hoc 网络和多媒体传输.

E-mail: mars-nudt@163.com



王晓东 男, 1973 年生于湖南长沙, 博士, 副研究员, 主要研究领域为无线通信网络与移动计算技术.

E-mail: xdwang@nudt.edu.cn