

文章编号:1001-9081(2009)10-2627-05

最小跳数路由无线传感器网络仿真研究

郑明才^{1,3}, 张大方^{1,2}, 赵小超³

(1. 湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082; 2. 湖南大学 软件学院, 长沙 410082;

3. 湖南第一师范学院 信息技术系, 长沙 410205)

(zmc1969@sohu.com)

摘要:为提高最小跳数路由(MHR)无线传感器网络的综合性能,通过仿真分析,揭示了传统最小跳数路由无线传感器网络存在的缺陷,极低开销地提取了改进传统最小跳数路由网络所需的相关信息,并讨论了可能的改进策略,给出了改进前后的性能比较。理论分析和仿真结果表明,利用廉价提取的网络行为特征信息对传统的最小跳数路由无线传感器网络进行改进,能提高网络的可靠性、能源有效性以及其综合性能。

关键词:无线传感器网络;最小跳数路由;最小跳数梯度场;梯度化邻居节点;精细化梯度值;仿真

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Study on minimum hop routing in wireless sensor networks simulation

ZHENG Ming-cai^{1,3}, ZHANG Da-fang^{1,2}, ZHAO Xiao-chao³

(1. School of Computer and Communications, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China;

2. School of Software, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China;

3. Department of Information Technology, Hunan First Normal University, Changsha Hunan 410205, China)

Abstract: In order to improve the general performance of Minimum Hop Routing (MHR) wireless sensor networks, with the help of simulation, this paper revealed the shortcomings of traditional MHR wireless sensor networks, dug out the required information at low expenses to improve the traditional MHR wireless sensor networks, discussed the improving policies, and compared the performances of the networks before and after. The theoretical analysis and simulation results imply that it will improve the data transmission reliability, energy-efficiency and general performance if we revise the traditional MHR wireless sensor networks by the information derived from network behaviors with low cost.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); Minimum Hop Routing (MHR); minimum hop gradient field; neighbor node in gradient; fine-grain gradient value; simulation

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由一组数量庞大、密集分布的微型传感器节点以自组织方式构成的智能测控网络,作为主观世界与物理世界的联系纽带,具有广泛的应用前景^[1],已引起了全球军事部门、学术界和工业界的极大兴趣^[2],被认为是 21 世纪将改变世界的 10 大新技术之一^[3]。

无线传感器网络具有拓扑结构动态变化、节点密集分布、节点无全局统一 ID、节点资源尤其是能源严格受限的特点,上述特点决定了无线传感器网络是一类结构复杂的自组织网络,但支撑网络运行的协议和算法又不能过于复杂,否则,对网络节点的要求高,导致网络实施代价大,不利于网络的实际应用。

无线传感器网络的主要功能是数据采集,因此数据汇聚是其数据传输的主要形态,而数据汇聚与路由技术密切相关。最小跳数路由(Minimum Hop Routing, MHR)协议^[4]因实现简单且具有自动趋向于路径最短、能耗最少、时延最小等优点^[2]而受到普遍关注,但传统最小跳数路由无线传感器网络中的数据汇聚存在路由粒度过粗、网络稳定周期短等缺陷,制

约其潜在优势的充分发挥,有必要对其加以改进。

鉴于无线传感器网络物理结构的复杂性,理论分析很难得到网络实际运行状况的全貌,本文借助仿真手段对最小跳数路由无线传感器网络进行分析,目的在于揭示其中存在的缺陷,挖掘运行过程中可用的廉价信息,为传统最小跳数路由无线传感器网络的改进提供指导依据。

1 相关工作

文献[4]作者提出的基于最小跳数梯度场(Minimum Hop Gradient Field, MHGF)的传感器网络路由协议是定向扩散(Directed Diffusion, DD)路由协议^[5-6]的典型代表,采用此协议的网络被称为最小跳数路由无线传感器网络。在最小跳数路由无线传感器网络中,网络的工作周期分为两个阶段:查询分组传送阶段和数据分组传送阶段。在查询分组传送阶段,网关 sink 节点以 flooding 方式发送查询分组,以向网络中的其他节点搜寻数据或/和分配测控任务;查询分组在网络中被其他节点以受限 flooding 方式(受“转发节点最小跳数值(Hop Count, HC)按 1 递增”的条件限制)转发,转发过程中各节点建立以网关节点为核心的逐跳向外蔓延的最小跳数梯度场。在数据分组传送阶段,数据源节点及其后的中继节点以

收稿日期:2009-04-16;修回日期:2009-06-16。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60703097);湖南省科技计划项目(2009GK3076);湖南第一师范校基金项目(XYS08N05)。

作者简介:郑明才(1969-),男,湖南津市人,副教授,博士研究生,主要研究方向:计算机网络、通信技术、信号处理;张大方(1959-),男,上海人,教授,博士生导师,博士,CCF 高级会员,主要研究方向:可信系统与网络、容错计算、网络测试、软件容错、软件测试、网络安全、软件工程、电子政务;赵小超(1971-),女,河南许昌人,讲师,主要研究方向:计算数学、应用数学及仿真算法。

受控 flooding 方式(受控于最小跳数梯度场的限制)向网关节点传送数据分组,呈现逐跳向 sink 节点汇聚的形态。文献[7]主要从理论上分析了最小跳数路由无线传感器网络的部分行为特征。

本文在仿真分析的基础上,更详实、直观地反映了最小跳数路由无线传感器网络的行为特点,而且揭示了传统最小跳数路由无线传感器网络中存在的缺陷,在不对网络及网络节点提出任何额外要求的前提下,对网络中的可用信息进行廉价挖掘,并指明了相关信息在网络改进中的可能用途以及改进后的网络模型及效果。

2 网络仿真

2.1 仿真对象

无线传感器网络以高冗余度来克服网络自身的动态拓扑结构特性而保证数据采集及传输的可靠性,首先表现在传感器节点抛撒的高密度性,其次表现在分组传输时的多副本重复传送。在节点随机抛撒的高密度无线传感器网络中,随机抛撒模型假设所有节点服从近似均匀分布,实际工程中随机抛撒、节点随机移动也是基本服从近似均匀分布的^[8]。不失一般性,为突出 MHR 网络的运行规律,本文以节点近似均匀分布的网络为仿真对象(网络节点布撒目标为均匀分布,但节点实际初始位置在理想位置的基础上有一个 0 ~ 节点平均间距 d 间的随机偏移量),网络节点分布在 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的平面矩形区域内(以左下角为坐标原点),节点密度 ξ 为 0.7 个/ m^2 ,节点初始通信半径 R 为 5 m ,网关节点 sink 位于网络边沿($0\text{ m}, 15\text{ m}$)处。为模拟最小跳数梯度场(MHGF)的稳定周期,以节点通信半径 R 每隔一定时间 Δt 减小为原值的 99.9999% 、节点位置每隔一定时间 Δt 随机移动 $0.001 \times (-0.5d \sim +0.5d)$ 来模拟网络拓扑结构的缓慢动态变化。

2.2 仿真输出

仿真的目的在于揭示 MHR 网络的实际运行规律,以及在几乎不增加任何额外开销的前提下挖掘网络运行过程中可廉价获取的附加信息。首先,根据 MHR 网络中查询分组的传送过程和传送方式,通过仿真建立查询分组传送阶段的 MHGF 模型;其次,在最小跳数梯度场建立过程中,网络节点“偷听”1 跳范围内的邻居节点信息,而这些节点又被 MHGF 圈定在不同的跳数梯度层次内,因此统计节点在 MHGF 中的梯度层次位置以及相关邻居节点信息是可廉价获取的信息;再其次,选定某个数据源节点,根据数据分组汇聚过程和汇聚方式建立数据分组的汇聚模型,并统计数据分组汇聚各跳层次中参与数据分组转发的节点数;最后,每隔一定时间 Δt ,根据移动后的节点位置以及变化后的节点有效通信半径在全网内搜寻并统计已失去数据分组汇聚链路的节点数,以此揭示最小跳数梯度场的稳定周期。

本文以上内容为仿真主要输出内容。为叙述方便,本文引入如下概念。

上行和下行 MHR 无线传感器网络中的信息传输具有方向性,汇聚节点向网内其他节点广播查询分组的过程称为下行(Downlink),数据源节点及转发节点向汇聚节点汇聚数据的过程称为上行(Uplink)。

邻居节点 在节点 i 的有效通信半径覆盖范围内的节点称为节点 i 的邻居节点,其数量记为 $N(i)$ 。

本跳邻居节点 在节点 i 的有效通信半径覆盖范围内且最小跳数值等于 $H(i)$ 的节点称为节点 i 的本跳邻居节点

(Neighbor with Hop $H(i)$, NH),其数量记为 $N_H(i)$ 。

下行源端邻居节点 查询分组下行过程中,直接向 i 节点转发查询分组的 $H(i) - 1$ 跳层次内的节点称为 i 节点的下行源端邻居节点(Neighbor as Downlink Source, NDS),其数量记为 $N_{DS}(i)$ 。

下行目的端邻居节点 直接接收到由 i 节点转发的查询分组的 $H(i) + 1$ 跳层次内的节点称为 i 节点的下行目的端邻居节点(Neighbor as Downlink Destination, NDD),其数量记为 $N_{DD}(i)$ 。

精细化梯度值 节点 i 的所有覆盖邻居节点的平均最小跳数值称为其精细化梯度值(Fine-Grain Gradient Value, FGV),记为 $H_F(i)$ 。 $H_F(i)$ 可用下式表示:

$$H_F(i) = \frac{N_{DS}(i)(H(i) - 1) + N_H(i)H(i) + N_{DD}(i)(H(i) + 1)}{N_{DS}(i) + N_H(i) + N_{DD}(i)} \quad (1)$$

2.3 仿真算法

主要仿真步骤描述如下:

输入 节点分配(序号 n , x 位置, y 位置)、节点通信半径 R 。

输出 MHGF 模型、数据汇聚模型、梯度化邻居节点信息。

1) 建立 MHGF。

节点梯度初始化: sink 节点的最小跳数值 $H(\text{sink}) \leftarrow 0$, 其他节点 $H(i) \leftarrow \infty$, 数据汇聚标记 $Hd(i) \leftarrow 0$;

建立 MHGF;

for $h = 1; 1; \infty$

 搜寻最小跳数值为 $(h - 1)$ 的节点 j ;

 搜寻在 j 节点 1 跳覆盖范围内的节点 i ;

 如果初始 $H(i) > h$, 则 $H(i) \leftarrow h$, 并统计 i 的个数;

 如果 h 跳内 i 的个数为 0, 退出 for 循环;

endfor

输出 MHGF 模型

2) 统计梯度化邻居节点信息。

$NZ \leftarrow$ 节点总数;

监听查询分组获取邻居节点信息;

for $i = 1; 1; NZ$

 如果监听到新的邻居节点, 则 $N(i) \leftarrow N(i) + 1$;

 如果邻居节点的 $HC = H(i) - 1$, 则 $N_{DS}(i) \leftarrow N_{DS}(i) + 1$;

 如果邻居节点的 $HC = H(i)$, 则 $N_H(i) \leftarrow N_H(i) + 1$;

 如果邻居节点的 $HC = H(i) + 1$, 则 $N_{DD}(i) \leftarrow N_{DD}(i) + 1$;

$H_F(i) \leftarrow$ 按式(1) 计算 i 节点 FGV;

endfor

输出梯度化邻居节点信息

3) 建立数据汇聚模型。

确定 source 节点, $Hd(\text{source}) \leftarrow H(\text{source})$

建立数据汇聚模型

for $h = Hd(\text{source}) - 1; -1; 0$

 搜寻汇聚标记 $Hd(j) = h + 1$ 的节点 j ;

 如果 i 节点在 j 节点的覆盖范围内, 且 $H(i) = h$, 则 $Hd(i) \leftarrow h$;

endfor

生成数据汇聚链路;

统计数据汇聚各跳参与转发的节点数;

输出数据汇聚模型;

4) 最小跳数梯度场稳定周期仿真。

for $n = 1; 1; 300$

 节点位置更新:

$$(x, y) \leftarrow (x, y) + \frac{(\text{rand}(0, 1) - 0.5, \text{rand}(0, 1) - 0.5) \cdot d}{1000}$$

 节点有效通信半径更新: $R \leftarrow 0.9999 \cdot R$

 搜寻、统计并记录网络中失去下行源端邻居节点的节点数;

endfor

输出失去下行源端邻居节点的节点数随网络运行时间变化的情况;

2.4 仿真结果

仿真结果见图 1~5。图 1 为查询分组传送阶段建立的最小跳数梯度场模型,由图可见 MHGF 具有定向扩散的近似环状特性。图 2 为网络中位于网络右上角(30 m,30 m)附近的数据源节点向网关 sink 节点汇聚数据时参与数据分组转发的节点及链路情况,不带链路的节点不参与该数据分组转发,由图可见参与该数据分组转发的节点被限制在一定的区域内。

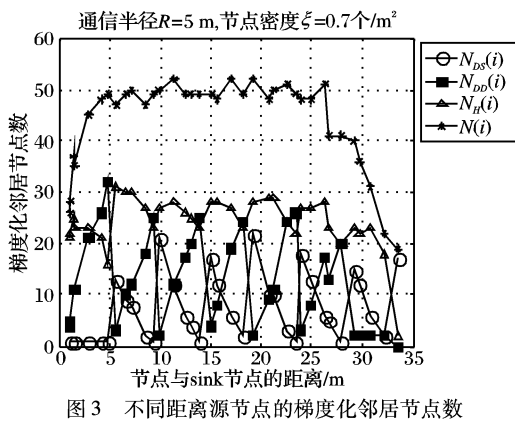
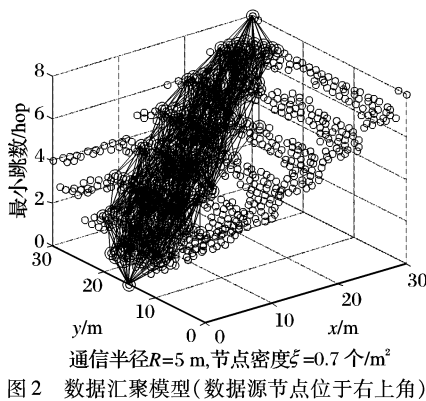
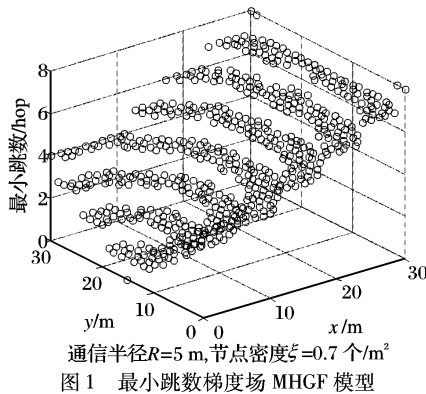
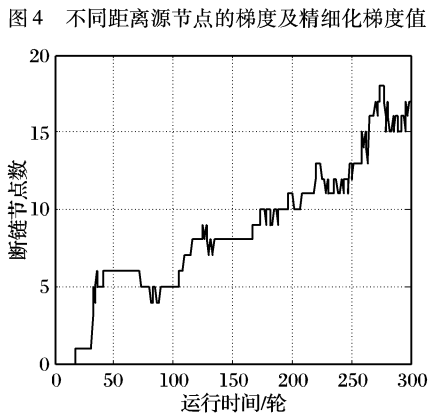
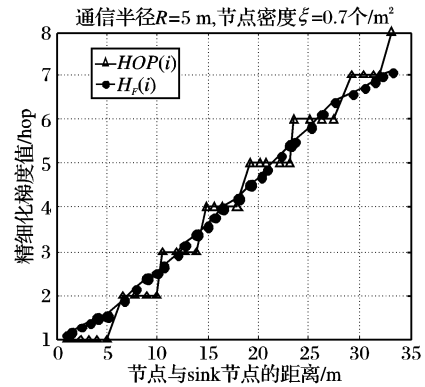


图 3 为沿 sink 节点(0 m,15 m)至网络右上角(30 m,30 m)直线附近节点距 sink 节点不同距离的节点的分类邻居节点数情况,由图可见节点分类邻居节点数与节点距汇聚节点或梯度层次边界的距离的关系及距离分辨率信息。

图 4 为沿 sink 节点(0 m,15 m)至网络右上角(30 m,30 m)直线附近节点距 sink 节点不同距离的节点的最小跳数梯度值与精细化梯度值情况,由图可见节点的精细化梯度值、最小跳数与节点距汇聚节点距离的关系及距离分辨率的差别。

图 5 为网络运行过程中,失去数据汇聚链路的节点数随运

行时间变化的情况,由图可见网络最小跳数梯度场稳定周期的长短。上述结果反映了 MHR 无线传感器网络的运行规律。



3 仿真结果分析

3.1 传统 MHR 网络缺陷

MHR 网络考虑到传感器网络节点密集分布和动态拓扑结构的特点,利用 flooding 方式的健壮性来传送控制分组和数据分组,但又限制了洪泛的广度和深度,一定程度上克服了完全洪泛的广播风暴现象,改善了网络性能。从图 1 来看,MHR 网络以受限 flooding 方式传递查询分组建立 MHGF 梯度场的过程呈现出逐跳“爬梯”的特性,传输路径不存在环回现象。从图 2 来看,MHR 网络以受控 flooding 方式汇聚感知数据,数据汇聚过程呈现出逐跳“下梯”的特性,不仅汇聚路径不存在环回现象,而且汇聚的范围被 MHGF 梯度场限制在一定的区域内。但从仿真结果看,MHR 网络还存在一些缺陷。

1)MHGF 梯度场的稳定周期短。由图 5 可见,当节点有效通信半径和节点位置缓慢变化时,网络运行过程中很快出现失去数据汇聚链路的节点,且随运行时间的延长,这类节点的数量不断增加,这说明网络最小跳数梯度场的稳定周期不长。这是因为传统 MHR 网络以节点实际通信半径的极力可达能力建立 MHGF 梯度场,梯度层次边界上的节点可能是上跳梯度内的节点勉强可达的,而传感器网络本身是一类动态拓扑结构网络,节点位置和参数尤其是节点有效通信半径的变化以及网络环境参数的变化极易导致网络不连通,因此梯度场稳定周期短,需频繁重建梯度场,这在大规模无线传感器网络中是不现实的。

2)汇聚数据流不均匀。在数据汇聚过程中,接收到数据分组的节点如果满足转发条件,则产生一个数据分组副本,在链路对称的 MHR 网络中,节点的下行源端邻居节点为节点汇聚数据分组时的目的节点,有多少个下行源端邻居节点便会产生多少个数据分组副本。汇聚数据流由汇聚过程经由

的各跳梯度层次内的数据分组副本组成,由图 2 可见,某数据源节点的感知数据在汇聚过程中,在汇聚各跳层次内产生的数据分组副本数不一致,中间跳的副本数多,两端小。由图 3 可见,距汇聚节点距离不同的数据源节点在汇聚感知数据的过程中,产生的数据分组副本数彼此也不相同,靠近梯度层次内边界的节点具有较多的下行源端邻居节点数(即上行目的端邻居节点数),汇聚过程中产生的汇聚副本数多;而靠近梯度层次外边界的节点具有较少的下行源端邻居节点数(即上行目的端邻居节点数),汇聚过程中产生的汇聚副本数少。数据流过小可能导致汇聚不可靠,而数据流过大则会消耗过多的能量,传统 MHR 网络的汇聚数据流不均匀,某些情况下过大,而某些情况下又过小,说明有时数据汇聚不可靠,有时数据汇聚可靠但重复传送程度过大导致能量开销太大,数据汇聚的可靠性和能量有效性无法同时达到最优,有待进一步精细控制,以在保证数据汇聚可靠性的前提下,尽量抑制数据分组汇聚副本数,达到节能的目的。

3) 转发负载不均衡。在链路对称的 MHR 无线传感器网络中,节点的下行目的端邻居节点为汇聚数据时需由其转发负载的节点,节点下行目的端邻居节点的多少反映了节点转发负载的轻重。由图 3 可见,距汇聚节点 sink 距离不同的节点承担转发负载的轻重程度不同,靠近梯度层次内边界的节点的下行目的端邻居节点数少,承担的转发负载轻,靠近梯度层次外边界的节点的下行目的端邻居节点数多,承担的转发负载重,而且差别很大。转发负载过度不均衡,易使转发负载重的节点成为热点节点和瓶颈节点,导致因能量过早耗尽而失效,影响网络整体寿命。传统 MHR 网络中的节点存在明显的转发负载不均衡,有必要加以适当控制,以延长网络的整体寿命。

3.2 信息提取及应用

MHR 无线传感器网络的节点可在网络运行过程中通过“偷听”获取其各类梯度化邻居节点数信息,并根据相应邻居节点数信息判断其汇聚数据的可靠性高低、转发负载的轻重程度等,为对传统 MHR 网络进行精细化调控提供依据。

MHR 无线传感器网络在运行过程中将网络节点圈定在不同的跳数梯度层次中,节点在 MHGF 场中所处的梯度层次以及参与数据分组转发的情况与节点距汇聚节点 sink 的距离密切相关,获取网络节点距汇聚节点的距离信息也可以帮助对网络运行状况进行调控,如网络中汇聚数据流过大时,节点可根据其距汇聚节点或距梯度层次边界的距离决定其是否参与数据分组的转发。另外,如果网络中含有三个以上的锚节点,根据节点距各锚节点的距离,可用“三边法”进行较为精确的节点自定位,从而满足那些与位置密切相关的数据感知任务的需求。

分析网络仿真结果,可有如下方法廉价而又较精确地获取节点距汇聚节点的距离信息:

1) 根据梯度化邻居节点数信息。由图 4 可见,节点具有的最小跳数值 HC 说明了节点在 MHGF 场中所处的梯度层次,粗略地反映了节点距汇聚节点的距离,但同跳层次内的节点无法彼此区分。为更精确估计节点距汇聚节点的距离,可借助节点的下行源端邻居节点数和/或下行目的端邻居节点数。由图 3 可见,节点的下行源端邻居节点数 $N_{ds}(i)$ 和下行目的端邻居节点数 $N_{dd}(i)$ 与节点距汇聚节点的距离呈现按梯度层次分段单调的关系,在 MHGF 的非第 1 跳梯度层次内,节点的下行源端邻居节点数 $N_{ds}(i)$ 随节点 i 距汇聚节点距离的增加单调减少;在非最后 1 跳梯度层次内,节点的下行目的端邻居节点数 $N_{dd}(i)$ 随节点 i 距汇聚节点距离的增加单调增

加。因此,结合节点的最小跳数值 HC 与节点的下行源端邻居节点数和/或下行目的端邻居节点数能较精确地估计出节点距汇聚节点的距离,距离分辨率为节点间距,能提高节点彼此区别的能力。

2) 根据精细化梯度值。文献[9]将节点及节点所有邻居节点的平均最小跳数值作为节点的精细化梯度值。由图 4 可见,在 MHGF 场所有梯度层次中,节点精细化梯度值 $H_p(i)$ 随节点 i 距汇聚节点距离的增加单调增加,且比节点最小跳数值曲线 $HOP(i)$ 平滑,说明根据节点的精细化梯度值能够较精确地估计节点距汇聚节点的距离,且无须判断节点是处于第 1 跳梯度层次还是最后 1 跳梯度层次。

3) 根据邻居节点总数。根据梯度化邻居节点数信息和节点精细化梯度值估计节点距汇聚节点的距离与 MHGF 场的梯度层次宽度有关,而梯度场的层次宽度由节点的有效通信半径决定,离散分布的节点的分布密度即节点间距影响节点的有效通信半径。节点邻居节点总数可反映节点局部的分布密度情况,在节点非均匀分布的网络中,可用来校正节点距离估计值。

3.3 问题解决措施及讨论

用节点距汇聚节点的距离信息对网络进行调控可以改进传统 MHR 网络存在的缺陷。

针对 MHGF 梯度场稳定周期短的缺点,可在梯度场建立时,在传统 MHR 网络要求节点可达的基础上,加进距离限制,要求新加入梯度层次的节点距上跳梯度边界的距离小于节点有效通信半径。这样,实际建立的最小跳数梯度场的层次宽度比传统 MHR 网络的梯度层次宽度小,小于节点的有效通信半径,数据汇聚的可靠性提高,能在一定程度上延长梯度场的稳定周期。图 6 为建立 MHGF 梯度场时调节节点的发射功率,将梯度层次宽度限制为节点有效通信半径的 0.98 倍时的稳定周期情况。最小跳数梯度场稳定周期延长的程度依赖于梯度层次宽度减小的程度,但减小梯度层次宽度会增加数据汇聚的跳数,梯度层次宽度多大合适,应根据具体要求综合权衡后确定。

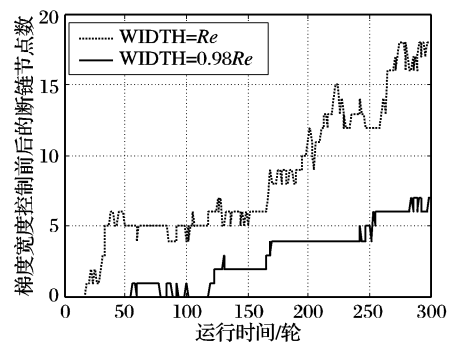


图 6 不同梯度层次宽度时链路不可靠节点数的比较

对于汇聚数据流不均匀的缺点,首先应保证数据汇聚的可靠性,因汇聚数据流在汇聚各跳层次的两端最小,因此数据源节点的下行源端邻居节点数初步反映了汇聚数据流的大小,可作为调控的关键点。某数据源节点的数据汇聚不可靠,可由数据源节点距其所在梯度层次内边界的距离来判断:节点距所在梯度层次内边界远,下行源端邻居节点少,汇聚数据流小,如果小于规定阈值,说明直接汇聚时达不到可靠性要求,可将汇聚数据分组中包含的梯度值 HC 加“1”后发送,由本跳邻居节点转发;如果数据源节点距所在梯度层次内边界近,下行源端邻居节点多,数据汇聚流大,过大时,应限制数据汇聚过程中各跳参与数据分组转发的节点数和转发节点所在

区域,可根据节点距离梯度层次边界的距离信息,将转发节点区域限制在一定的范围内以及靠近梯度层次内边界的位置。

对于转发负载不均衡的情况,节点距梯度层次内边界近时转发负载轻,距梯度层次外边界近时转发负载重。因此,在数据汇聚时,可在保证汇聚可靠的前提下,优先选择距梯度层次内边界距离近的节点转发数据分组,以避免转发负载重的节点区域,尽可能均衡负载,延长网络生命周期。

改进后的网络目标模型如图 7 所示,最小跳数梯度场的层次宽度小于节点的有效通信半径,水平线区域为传统 MHR 网络参与数据汇聚的节点区域,黑色阴影区域为改进后的网络参与数据汇聚的节点区域。其中, R_e 为节点有效通信半径, $R'e$ 为梯度层次宽度,且 $R'e < R_e$ 。对于位于网络区域右上角的某数据源节点,图 8 显示了转发区域限制前后各跳承担转发数据流的情况,明显可见限制后数据流分布变小且较均匀。

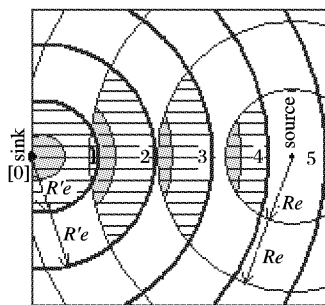


图 7 传统 MHR 网络改进模型

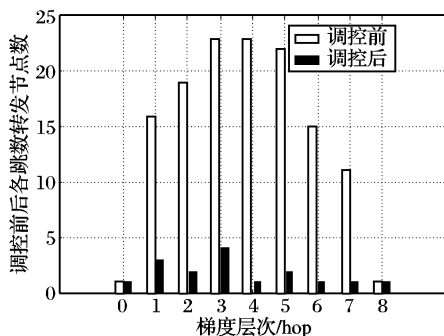


图 8 转发节点区域限制前后各跳转数据流分布情况

4 结语

传统 MHR 网络在一定程度上克服了完全 flooding 算法

的缺点,改善了 flooding 算法用于节点密集分布的无线传感器网络的性能,但依然存在与传感器网络特点不相适应的地方,有待进一步改进,主要在于最小跳数梯度场稳定性和参与数据汇聚的节点数以及节点区域确定两个方面;在 MHR 网络运行过程中,可廉价获取节点各类梯度化邻居节点数信息以及节点距汇聚节点的距离信息,用该信息对传统 MHR 网络进行调控,可改善传统 MHR 网络的缺陷,提高网络性能。寻求利用节点的各类梯度化邻居节点数信息以及节点距汇聚节点的距离信息调控 MHR 网络的具体策略以及改进后的效果的定量分析是将来进一步完成的任务。

参考文献:

- [1] ARAMPATZIS T H, LYGEROS J, MANESIS S. A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation. Hawaii: IEEE Press, 2005: 719 - 724.
- [2] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor network: A survey [J]. Computer Networks, 2002, 38 (4): 393 - 422.
- [3] ROUSH W. 10 emerging technologies that will change the world [J]. Technology Review, 2003, 106(1): 33 - 49.
- [4] HAN K-H, KO Y-B, KIM J-H. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks [C]// VTC2004-Fall. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 2979 - 2983.
- [5] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks [C]// Proceedings of the 6th ACM/ IEEE Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000: 56 - 67.
- [6] YE F, CHEN A, LIU S W, et al. A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks [C]// Proceedings of the 10th International Conference on Computer Communications and Networks. Arizona: IEEE Communications Society, 2001: 304 - 309.
- [7] 郑明才, 张大方, 赵小超. 最小跳数路由无线传感器网络行为特征研究 [J]. 计算机应用, 2007, 27(10): 2552 - 2555.
- [8] 孙勇进, 孙雨耕, 陈宝江, 等. 无线传感器网络 1 点和 2 点连通可靠性研究 [J]. 传感技术学报, 2004, 17(3): 379 - 385.
- [9] 朱红松, 孙利民, 徐勇军, 等. 基于精细化梯度的无线传感器网络汇聚机制及分析 [J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1138 - 1151.

(上接第 2626 页)

3 结语

本文将客观赋权法应用于网络性能评估指标权重确定,并将指标间的冲突性引入到标准差法、离差最大化法和熵权法中,提出了两种新的改进客观权重确定方法,使网络性能评估中客观权重确定方法的选择更加全面完备。

志谢:衷心感谢评审专家的论文评阅意见和吴继礼博士的建议。

参考文献:

- [1] 张冬艳, 胡铭曾, 张宏莉. 基于测量的网络性能评价方法研究 [J]. 通信学报, 2006, 27(10): 74 - 79.
- [2] 陶洋, 张静, 周霞. 基于三角模糊层次分析法与网络仿真的网络整体性能评价研究 [J]. 计算机应用, 2005, 25(10): 2238 - 2240.
- [3] 罗枫, 宋梅, 任志军, 等. 移动网管中多指标综合评估研究 [J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(4): 97 - 101.
- [4] 徐海东, 李治文, 江峰, 等. 基于神经网络的 UTRAN 网络质量综合评价 [J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(4): 41 - 44.
- [5] 于艳华, 宋梅, 潘阳发, 等. 改进的基于支持向量机的网络综合评价策略 [J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(6): 85 - 88.
- [6] 张红涛, 毛罕平. 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 132 - 136.
- [7] DIAKOUAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method [J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7): 763 - 770.
- [8] ITU-T Y. 1540—2007, Internet protocol data communication service-IP packet transfer and availability performance parameters [S]. 2007.
- [9] ITU-T Y. 1541—2006, Network performance objectives for IP-based services [S]. 2006.
- [10] 安宏, 高学东, 曾德华, 等. 基于因子分析和模糊数学方法的综合评估 [J]. 计算机工程, 2008, 34(18): 281 - 282.