

# 基于剩余能量的无线传感网路由算法设计

顾礼君,管有庆

(南京邮电大学 物联网学院 信息技术研究所,江苏 南京 210003)

**摘要:**小规模、分布集中的 WSNs(Wireless Sensor Networks, 无线传感器网络)适宜采用平面路由协议,但在平面路由协议中,传统的洪泛路由算法以广播的方式在整个网络中传输查询请求和查询结果数据帧,消耗了较多的传感器节点能量,导致节点过早失效。论文对传统的洪泛路由算法进行改进,提出并实现了一种节能路由算法 BRE-Flooding(Based on the Remaining Energy Flooding, 基于剩余能量的洪泛算法)。在算法中,节点依据剩余能量决定是否接收和转发数据帧;节点维护由剩余能量、距离网络中聚合节点(Aggregation Node)的跳数等信息组成的邻居路由信息表,并依据数据帧中表示该查询请求关键程度的属性,结合邻居路由信息表动态确定向哪几个(或全部)邻居节点转发数据帧。经实验仿真,表明所提算法在节省节点能量消耗及网络负载均衡方面具有较好的表现。

**关键词:**平面路由协议;洪泛路由算法;BRE-Flooding 路由算法;节能

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0075-04

## A WSNs Routing Algorithm Program Based on Residual Energy

GU Li-jun, GUAN You-qing

(Institute of Information Network Technology, College of the Internet of Things, Nanjing University  
of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Flat routing protocols are appropriate for small-scale and concentrated WSNs (Wireless Sensors Networks). However, since flooding routing algorithm transmits queries and query results packets across the network by means of broadcasting, sensor nodes energy is greatly consumed, eventually resulting in the premature failure of nodes. In order to improve the traditional flooding routing algorithms, propose and implement a new energy-efficient routing algorithm-BRE-Flooding (Based on the Remaining Energy Flooding). What is new in this new routing algorithm is that, it is the nodes that decide whether or not to receive and forward the packets according to the node residual energy, and it is the nodes that maintain their respective neighbor routing information tables and obtain the parameter which indicates the degree of importance of query results packets, and it is the nodes that decide to transmit packets to how many or which of its neighbor nodes. Simulation experiments illustrate that the proposed algorithm displays satisfactory performance in node energy efficiency and network load balance keeping.

**Key words:** flat routing protocol; flooding algorithm; BRE-Flooding algorithm; energy-efficient

## 0 引言

WSNs是由多个传感器节点组成的,面向数据应用的无线自组织网络。传感器节点在网络中可以充当数据采集者、数据传输者及数据聚合者的角色。在传感器网络中,路由协议的主要任务是:通过协议在数据采集的源节点和查询目的节点之间寻找最优的路径,将数据帧沿此路径准确地从源节点发往目的节点。此外无线传感器网络中节点能量受限,且能量一旦耗尽将无法实时补充,因此传感网路由协议还需考虑如何

更有效地利用节点能量。

目前,国内外许多专家、学者正从事传感网路由协议的研究,并取得了一系列研究成果。在平面路由方面,早期的洪泛路由算法已不能满足传感器网络发展的需要<sup>[1,2]</sup>,故在此基础上改进并提出了一些新的协议。SPIN(Sensor Protocol for Information via Negotiation,以数据为中心基于协商的传感器协议)<sup>[3]</sup>是以数据为中心的自适应路由协议族,它使用“信息描述符”和协商机制避免网络中冗余数据的传输,并解决洪泛算法中的“内爆”(In-network Implosion)和“重叠”(Overlapping)问题<sup>[4]</sup>。但它的缺点是:靠近 Sink 的节点中继负担较大,影响系统寿命;事件的广播能耗比较严重。DD(Directed Diffusion,定向扩散)协议<sup>[5]</sup>是传感器网络中一种以数据为中心<sup>[6]</sup>分发信息的通信协

收稿日期:2012-03-01;修回日期:2012-06-07

基金项目:江苏省高校自然科学基金计划项目(05KJD520146)

作者简介:顾礼君(1985-),男,江苏苏州人,硕士研究生,研究方向为软件技术在通信网络中的应用;管有庆,副研究员,硕士生导师,研究方向为数据库、通信软件和下一代网络等。

议,体现了根据感知数据内容建立优化路径的思想,但 DD 协议可扩展性较差。MCF (Minimum Cost Forwarding Approach, 最小代价转发方式) 协议<sup>[7]</sup>的对象是节点数目不受限的大型传感器网络,研究怎样从任意源节点出发,找到一条最小代价路径传输消息到 Sink 节点。但该协议没有考虑到网络的负载均衡,使部分节点能量消耗过快,并最终导致节点过早失效。OFFIS (Optimized Forwarding by Fuzzy Inference Systems, 基于模糊决策系统的优化数据转发) 算法<sup>[8]</sup>以距离、剩余能量、链路利用率等为指标选取节点。但是该算法实现的前提条件是预知网络中节点的位置,且该算法实现过程过于复杂。近来,有研究人员提出,可以将能量管理和路由问题结合起来考虑<sup>[9]</sup>,从而确定最佳的能量分配方案及路由策略。

### 1 BRE-Flooding 算法概述

BRE-Flooding 算法描述如下:假定节点 1 是数据帧生成节点,节点 4 是数据聚合节点。分两个阶段,结合图 1 和图 2 来说明 BRE-Flooding 路由算法的逻辑结构。

(1) 路由信息维护阶段。以固定的时间间隔(如 30s),从聚合节点开始,以广播的方式向邻居节点发送包含路由信息的广播消息帧。

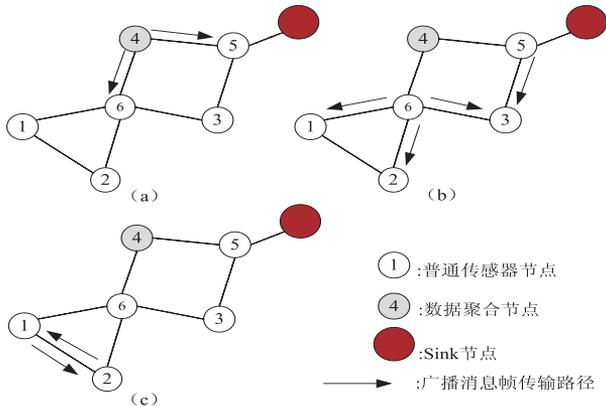


图 1 路由信息维护示意图

数据聚合节点 4 向它的邻居节点 5、6 发送广播消息帧。节点 5、6 分别在各自的邻居路由信息表中生成一条本节点至节点 4 的路由项,路由项中包括的信息有:本节点号、目的节点号、距最近聚合节点跳数、目的节点剩余能量和路由生成(更新)时间,见图 1(a);

节点 5、6 分别向各自的邻居节点发送广播消息帧 (Sink 节点和上一跳节点除外),如节点 3 中分别生成了以下两条路由:经过节点 5 可到达节点 4,距离为 2 跳。经过节点 6 可到达节点 4,距离为 2 跳。节点 1 中生成如下路由项:经过节点 6 可到达节点 4,距离为 2 跳。节点 2 中生成路由项:经过节点 6 可到达节点 4,

距离为 2 跳,见图 1(b);

节点 1、2 分别向对方发送广播消息帧,这样节点 1 就增加了一条路由:经过节点 2 可到达节点 4,距离为 3。同理节点 2 中也增加了一条路由,见图 1(c)。

节点 4 每隔 30s 发送一次广播消息帧,各节点依据帧中的信息生成/更新各自的邻居路由信息表。

(2) 数据帧接收、转发阶段。

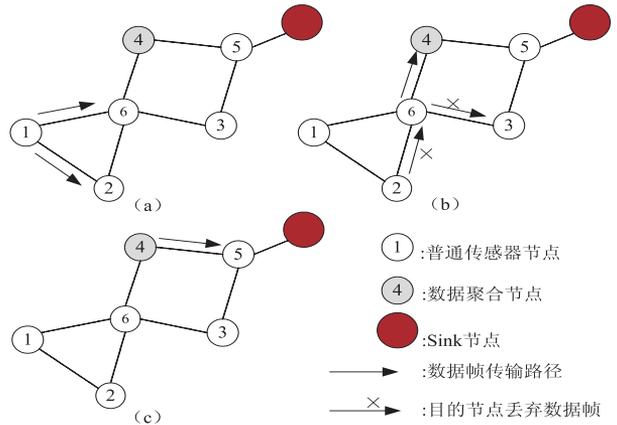


图 2 数据帧接收、转发示意图

节点 1 查询本节点的邻居路由信息表,发现两个邻居节点:节点 2 和节点 6,假定此时数据帧中“查询关键程度”属性值为 2,则节点 1 向节点 2、6 都发送数据帧。节点 2、6 首先将检查数据帧的时间戳属性、数据源节点号和数据帧序列号,其次根据本节点的剩余能量作判断(为方便表述,节点接收数据帧的算法见下一段描述),假设此时节点 2、6 的剩余能量满足接收条件,则节点 2、6 接收数据帧,见图 2(a);

节点 6 查看自己的邻居路由信息表,节点 1、2、3、4 都是本节点的邻居节点,而节点只可能向除数据帧上一跳节点之外的所有相邻节点转发数据帧,故排除节点 1。节点 4 本身就是聚合节点,符合发送对象的条件。而考虑到节点 2、3 距聚合节点 4 的跳数都为 2,故此时随机选择节点 2 或 3 为下一跳(假定此处选择节点 3 为下一跳)。由本数据帧的“查询关键程度”属性值为 2 知,本节点将向两个邻居节点转发数据帧,从而确定出节点 3、4 将是数据帧的下一跳节点。节点 3 读取数据帧的“剩余能量序列”属性值,并与本节点剩余能量一起按值作逆序排列。若本节点剩余能量处于排列的后半段,则节点丢弃数据帧,否则就接收这个数据帧。图 2(b)中假定节点 3 剩余能量值不符合接收该帧的条件,丢弃了该帧。同样的,节点 2 向节点 6 转发数据帧,但节点 6 检查该帧的数据源节点号和数据帧序列号时,发现本节点已收到过同一个数据帧,于是丢弃这个数据帧,这就有效地控制了数据帧副本进入网络,见图 2(b);

数据聚合节点 4 接收数据帧后,检查这个数据帧

中的数据是否是原始数据,若是原始数据,则先执行数据聚合操作,而后将数据帧放入节点发送队列,准备转发。否则将不作数据聚合操作,而直接将数据帧放入节点发送队列准备转发。节点 5 收到节点 4 转发来的数据帧后,递交给 Sink 节点,见图 2(c)。

第一阶段,路由信息维护阶段实现节点对邻居路由信息的维护和更新,为数据帧转发做好准备;第二阶段,数据帧接收、转发阶段是算法的核心,实现对数据帧的接收或丢弃并确定数据帧转发的对象,从而实现数据帧的传输。

## 2 BRE-Flooding 算法设计与实现

传感器节点能量有限的特点使得网络可能在任意时刻发生拓扑结构变化<sup>[10]</sup>,因此相邻节点之间需要定时地交换路由信息,以确保网络畅通。

### 2.1 维护邻居路由信息表

节点邻居路由信息表 Routing\_table 中存放有本节点号 Src\_ID,邻居节点号 Dst\_ID,聚合节点号 Agt\_ID,邻居节点剩余能量 node\_energy,邻居节点至最近聚合节点的跳数 step\_agt 及时间戳属性 Time\_stamp。节点邻居路由信息表由结构体数组来表示,每条路由信息都对对应结构体数组中的一个元素(Node)。Node 的结构如下:

```
struct Node
{
    int Src_ID;
    int Dst_ID;
    int Agt_ID;
    double node_energy;
    int step_agt;
    int Time_stamp;
};
typedef struct Node Node_t;
Node_t Routing_table[100];
```

邻居节点会定期向本节点广播消息帧,本节点收到后查找邻居路由信息表中对应该邻居节点的路由并更新表项中的 step\_agt 和 node\_energy 两项内容。

图 3 描述了节点收到来自节点号为 5 的邻居节点发送的广播消息帧后对邻居路由信息表更新流程。节点依据广播帧中邻居节点的当前信息及时更新本节点邻居路由信息表。

### 2.2 数据帧接收过程

BRE-Flooding 路由由协议算法中,节点确定是否接收一个数据帧的步骤如下:

Step1: 节点的接收队列检测到有转发来的数据帧,检查数据帧的时间戳属性 Time\_stamp,若超时则丢弃该包,否则执行 Step2;

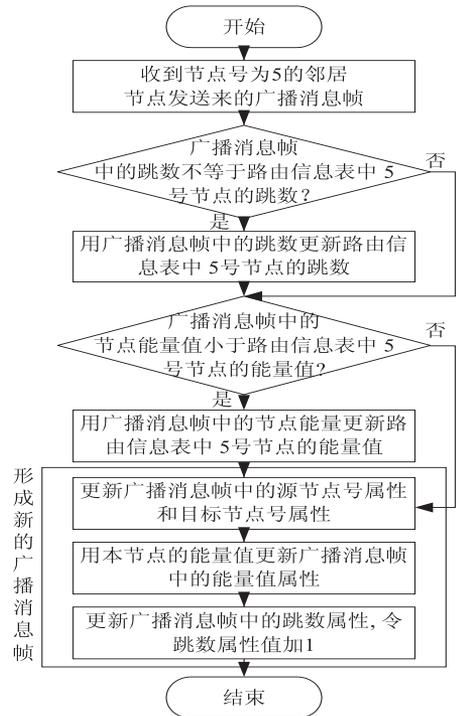


图 3 邻居路由信息表更新流程

Step2: 检查数据帧的数据源节点号 DataSrc\_ID 和数据帧序列号 Seq\_num,若本节点中已存在与 DataSrc\_ID 和 Seq\_num 都相等的数据帧时,则表明接收到数据帧副本,丢弃该数据帧,否则执行 Step3;

Step3: 若本节点是聚合节点,则检查数据帧中标识本包为原始数据的属性  $d$ ,当  $d$  等于 0 则可以执行预定的数据聚合操作,当  $d$  不等于 0 则接收数据帧并送入节点的转发队列,执行 Step4;

Step4: 节点从数据帧的 Rem\_energy 数组中提取出记录的剩余能量序列  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ ,作为此时网络中节点平均剩余能量的参考,和本节点剩余能量值  $r_i$  一起作递减排序。假定设置阈值为 50%,即若  $r_i$  处于排序后数列的前 50%,则本节点执行接收操作,否则将丢弃该数据帧。

### 2.3 数据帧转发过程

节点向哪几个(或全部)邻居节点转发数据帧,是由数据帧中表示查询关键程度的属性 Query\_key 及节点邻居路由信息表 Routing\_table 中 step\_agt 属性来决定的,以下是算法中数据帧转发步骤:

Step1: 从数据帧中取出本数据帧所对应查询请求的查询关键程度标识 Query\_key,记其值为  $k$ ;

Step2: 查找本节点的路由信息表 Routing\_table,统计表中路由项的数目(即活动的邻居节点个数)记为  $m$ ,并按邻居路由信息表中的 step\_agt 属性将路由项作逆序排列;

Step3: 判断  $k$  与  $m$  的大小,若  $k < m$  则本节点向 step\_agt 跳数最少的前  $k$  个邻居节点转发本数据帧,若

$k \geq m$  则本节点向邻居路由信息表中记录的所有邻居节点转发这个数据帧;

Step4:在数据帧 Dst\_ID 域中写入邻居节点号,并将数据帧送入节点发送队列等待发送。

在数据帧中设置标识查询请求重要程度的属性 Query\_key,结合 step\_agt 属性,给一些重要的数据帧选择冗余链路,使它们具有较高的传输可靠性。

### 3 实验仿真

在传感器网络中,能否节省节点的能量消耗是评价一种路由算法优劣的关键之一<sup>[11]</sup>。在 BRE-Flooding 算法的仿真中,将对比传统的洪泛法路由,从网络中节点的平均剩余能量,当前节点存活数目和网络能量均衡度三个角度分析两种路由算法的性能。

图 4 反映了节点平均剩余能量对比,由于洪泛法采用向网络内广播的方式传输数据帧,节点平均能量是呈线性递减的。BRE-Flooding 路由协议中数据帧根据查询请求关键程度、节点剩余能量状况及节点跳数动态选择路由,节省了节点能量消耗,使得同一时间点上网络中节点生存个数比洪泛法要多,见图 5。

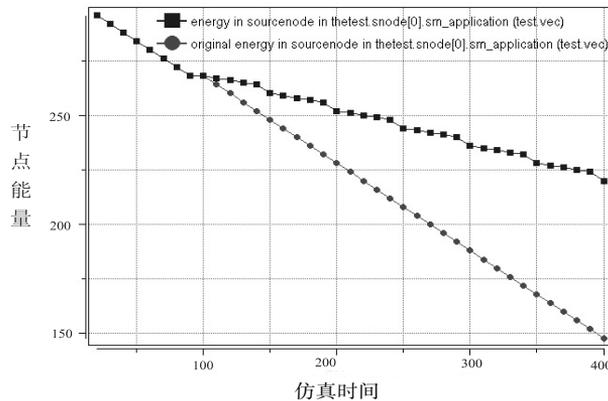


图 4 节点平均能量剩余对比

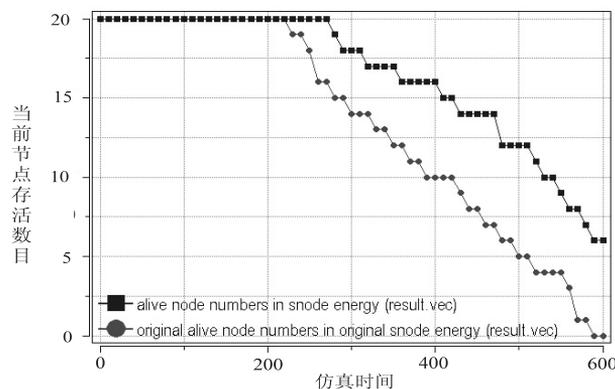


图 5 当前节点存活数目对比

网络能量均衡度,即节点剩余能量的均方差,反映了整个网络中各节点能量消耗的均衡性,揭示了路由协议在平衡网络负载方面的性能,该值越大表明节点间能量消耗越不均衡<sup>[12]</sup>。

网络能量均衡度对比如图 6 所示。由于 BRE-Flooding 算法决定是否转发数据帧时,要将本节点剩余能量和周围节点的剩余能量作比较,避免出现因某些节点所在的链路过热而导致节点过早耗尽能量的情况,故能有效平衡网络负载。

从图 6 可以观察到,在仿真进程中洪泛路由算法的网络能量均衡度值普遍要高于 BRE-Flooding 路由算法,表明洪泛路由算法的节点能耗不够均衡。

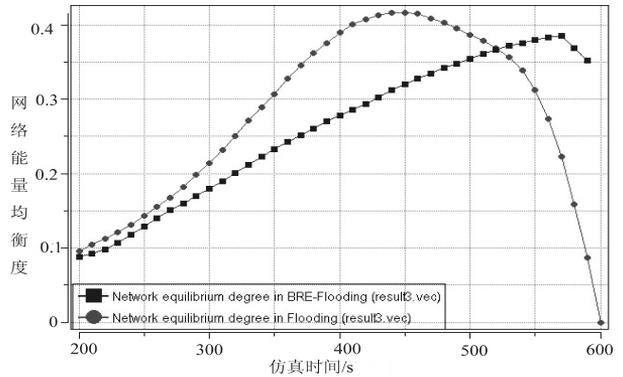


图 6 网络能量均衡度对比

### 4 结束语

BRE-Flooding 路由算法是一种能量高效的平面路由协议,协议进程分为路由信息维护和节点数据帧处理两个阶段。路由信息维护期间每个节点内建立起邻居信息表,并定时通告邻居节点网络状况,维护了网络的整体拓扑信息。节点数据帧处理期间主要完成数据帧依节点剩余能量接收、转发、丢弃等操作,并可在聚合节点处进行必要的数

#### 参考文献:

- [1] 陈治平,王 雷. 无线传感器网络中路由算法研究进展 [J]. 福建工程学院学报,2005,3(6):600-607.
- [2] 崔 莉,鞠海玲,苗 勇,等. 无线传感器网络研究进展 [J]. 计算机研究与发展,2005,42(1):163-174.
- [3] Heinzelman W R, Kulik J, Balakrishnan H. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of ACM MobiCom '99. Washington: [ s. n. ], 1999:174-185.
- [4] Madden S, Franklin M, Hellerstein J, et al. TAG: A Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks [C]//Proc of the Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI). Boston: [ s. n. ], 2002:131-146.
- [5] Chalermek I, Ramesh G, Deborah E, et al. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(1):2-16.
- [6] 霍梅梅,郑增威,周晓伟. 移动传感器网络及其路由协议研究进展 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(11):4010-4013.

数据库仍然存在一定差距。

### 4.2 扩展性能对比结果

扩展性能测试同样采用上节测试中所采用的数据,测试内容为系统在添加节点后星型模型基准中的 Q2.1、Q2.2、Q2.3、Q3.1、Q3.2 查询性能的改善情况。测试结果为表 2:

表 2 扩展性能测试结果

Query	单节点 执行时间	双节点 执行时间	四节点 执行时间	八节点 执行时间
2.1	5.74s	2.81s	1.40s	0.75s
2.2	4.52s	2.25s	1.12s	0.59s
2.3	3.97s	1.97s	0.98s	0.51s
3.1	8.21s	4.11s	2.06s	1.06s
3.2	6.58s	3.37s	1.72s	0.89s

扩展性能分析表明,系统查询性能随着节点数目增加可以实现近乎线性的增长。采用基于 Shared-Nothing 架构的本系统具有出色的扩展性能,只需要向系统内添加新的普通节点就能够实现查询性能接近线性的有效提升,这种特性能够帮助数据库系统较好地适应海量数据分析处理场景下查询性能要求飞速提升的情况,系统只需要根据性能要求添加处理节点就可以满足查询性能提升的要求。

### 5 结束语

文中给出了一种基于 Shared-Nothing 机制的分布式数据库构建方法,通过对实现系统的测试实验,证明了该系统与传统行式数据库相比具有一定的性能优势。由于采用 Shared-Nothing 机制,系统具有出色的可扩展性能。同时列存储特性也有效提升了数据库系统的读取性能。

虽然系统设计的预期功能基本实现,但依然存在很多问题需要进一步研究解决。例如本系统在创建新表时执行时间过长,以及对数据进行修改操作时的执

行效率较低等问题。这些问题需在今后的研究工作中进一步加以改进完善。

### 参考文献:

[1] 马 垣. 关系数据库理论[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.

[2] 孙风栋, 闫海珍. Oracle 10g 数据库系统性能优化与调整[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(2): 82-86.

[3] 夏义全. 数据库应用系统优化方法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7): 149-152.

[4] Abadi D J, Madden S R, Hachem N. Column-stores vs row-stores; how different are they really? [C]//Proc. of SIGMOD. [s. l.]: [s. n.], 2008.

[5] Mike S, Daniel J A. C-Store: A column-oriented DBMS [C]//Proceedings of 31st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB). Trondheim, Norway: Association for Computing Machinery, 2005: 553-564.

[6] 肖 凌, 刘继红, 姚建初. 分布式数据库系统的研究与应用[J]. 计算机工程, 2001, 27(1): 33-35.

[7] 曾国林, 傅秀芬, 吕占德. 异构数据库集成中间件的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 82-86.

[8] 王 君, 祝永志, 魏榕晖, 等. 基于 Oracle 分布式数据库的查询优化[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(1): 157-160.

[9] Abadi D J, Myers D S, DeWitt D J, et al. Materialization strategies in a column-oriented DBMS [C]//23rd International Conference on Data Engineering (ICDE). Istanbul, Turkey: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society, 2007: 466-475.

[10] Abadi D J. Query execution in column-oriented database systems[D]. USA: MIT, 2008.

[11] Abadi D J, Madden S R, Ferreira M. Integrating compression and execution in column-oriented database systems [C]//SIGMOD. [s. l.]: [s. n.], 2006: 671-682.

[12] Binnig C, Hildenbrand S, Faerber F. Dictionary-based Order-preserving String Compression for Main Memory Column Stores [C]. Providence: ACM, 2009.

(上接第 78 页)

[7] Ye Fan, Alvin C, Lu Songwu, et al. Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks [C]//Tenth International Conference on Computer Communications and Networks. [s. l.]: [s. n.], 2001: 304-309.

[8] Azim M A, Kibria M R, Jamalipour A. An optimized forwarding protocol for lifetime extension of wireless sensor networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2009, 9(1): 103-115.

[9] Wang C F, Ding J W, Lee C C. Joint optimization of energy allocation and routing problems in wireless sensor networks[J].

Wireless Communications and Mobile Computing, 2010, 10(2): 171-187.

[10] 沈丹丹. 无线传感器网络的节能路由及其优化研究[D]. 杭州:浙江工业大学, 2008.

[11] 戴海清, 李春茂, 陈东发. 无线传感器网络节能策略[J]. 广西师范学院学报, 2007, 24(2): 91-94.

[12] 徐久强, 丁玉官, 赵 海, 等. 无线传感器网络中能量均衡可靠路由度量方法[J]. 计算机工程, 2009, 35(12): 87-89.

# 基于剩余能量的无线传感网路由算法设计

作者: 顾礼君, 管有庆  
作者单位: 南京邮电大学 物联网学院 信息网络技术研究所, 江苏 南京 210003  
刊名: 计算机技术与发展  
英文刊名: Computer Technology and Development  
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201210021.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201210021.aspx)