

## 基于能量感知的数据汇聚和路由协议

刘 昕 王全玉 金旭亮

(北京理工大学计算机科学与技术系 北京 100081)

(liuxinmail@gmail.com)

### An Energy-Aware Data Gathering and Routing Protocol for WSN

Liu Xin, Wang Quanyu, and Jin Xuliang

(Department of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract** This paper presents a distributed, energy-efficient data gathering and routing protocol for wireless sensor network. In the algorithm, each sensor node is assigned a tier ID in according to the distance between the node and the base station. Nodes closer to the base station are assigned lower tier IDs. When gathering data, nodes with higher tier IDs send their data to their neighbors who have lower tier IDs where the data is aggregated and then forwarded to nodes with even lower tier IDs. Therefore, the communication is conducted at a low energy level, and the data travels, layer by layer, toward nodes with the lowest tier IDs. When the data reaches the nodes with the lowest tier ID, the system selects a node among them to directly communicate with the base station. Because long-distance communication with the base station is energy-consuming, the node sending data to the base station will have its energy drained off very fast so that it die much earlier than other nodes. A mechanism is proposed to shift the long-distance communication among all network nodes, which is called the top-tier shifting mechanism. Using this mechanism, energy consumption can be evenly distributed among all network nodes, and the network lifetime is prolonged.

**Key words** wireless sensor network; routing algorithm; data aggregation; communications; energy-efficient

**摘 要** 提出了一种分布式的高效节能的传感器网络数据收集和聚合协议,网络中节点根据与基站的远近划分成不同的层次.协议优先选择能量充足并且距离基站最近的节点直接与基站通信,其他节点的数据则通过邻接节点逐层聚合和转发,最后传送到该节点上.因为与基站通信的能量代价太高,直接与基站通信的节点能量消耗很快.当距离基站近的节点能量过低时,协议将选择距离基站较远的节点直接与基站通信.通过顶层节点迁移机制,MTP协议能够很好地将能量损耗均匀分布到所有节点.

**关键词** 无线传感器网络;路由算法;数据聚合;通信;节能

中图法分类号 TP316.4

在传感器网络中,节点的能量损耗主要集中在处理器对采集信息的计算处理和无线射频模块对数据的传送两个方面.从通信的角度来看,大量的研究工作集中于MAC层和路由层的协议设计,根据

能量损耗情况对协议进行优化<sup>[1-6]</sup>.

根据无线通信理论,能量衰减模型随发送距离的远近分为自由空间模型(free space)和多路衰减模型(multipath fading):当发送距离在一定阈值 $d_0$

( $d_0$  为常量)内,发送数据的功耗和距离的平方成正比;当发送距离大于  $d_0$  时,功耗和距离的四次方成正比<sup>[7]</sup>.当节点向距离  $d$  以外的另一节点发送  $k$  个字节的数据时,其所消耗的能量为

$$E_{tr}(k, d) = E_{elec}(k) + E_{amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{fr} \times d^2, & d \leq d_0, \\ kE_{elec} + k\epsilon_{mp} \times d^4, & d > d_0, \end{cases} \quad (1)$$

其中  $E_{elec}$  表示收发电路所消耗的能量,  $E_{amp}$  表示信号放大器消耗的能量.

因此,距离基站较远的传感器节点发送数据消耗的能量代价太高,导致节点很快死亡.为解决这个问题,一些基于节约能量的路由算法相继被提出<sup>[8-13]</sup>.本文所提出的多层回溯协议(multi-tier trace-back protocol, MTP)就是一种基于能量感知的数据聚合和路由方法. MTP 优先选择能量充足且距离基站最近的节点与基站直接通信;其他节点数据则通过邻接节点聚合和转发,汇集到该节点.

## 1 相关工作

从网络拓扑结构的角度看,无线传感器网络路由协议大体可以分为两类:平面路由协议和分簇路由协议.平面路由的优点是简单、易扩展,无须进行任何结构维护工作,具有较好的健壮性.但在平面路由协议中,网络中没有管理节点,不利于临近节点的数据融合.

在分簇路由协议中,网络通常被划分为簇(cluster),即具有某种关联的网络节点集合.在分簇的拓扑管理机制下,网络中的节点划分为簇首节点和成员节点两类.簇首管理整个簇内成员节点,协调成员节点之间的工作,负责簇内信息的收集和数据的融合处理以及簇间转发.

LEACH 算法<sup>[9]</sup>是一种基于分簇的分布式自组织协议.算法随机选取簇首,将非簇首节点的数据传送到簇首节点,经过聚合再由簇首发送给基站. LEACH 算法减少了与基站直接通信的节点数目和数据量,能达到较好的节能效果.并且,协议在每一轮都随机重新选取簇首,理论上这可以将能量消耗均匀地分布到所有节点上.

TEEN<sup>[14]</sup>采用类似 LEACH 的分簇算法,只是在数据传送阶段对传感器设立了软、硬两个阈值用来减少数据的发送.

PEGASIS<sup>[10]</sup>中的簇是一条基于地理位置的链.

PEGASIS 协议根据节点的地理位置形成一条相邻节点之间距离最短的链. PEGASIS 中通信只限于相邻节点之间.节点以最小功率发送数据,每轮只随机选择一个簇首与基站通信,减少了数据通信量.

针对 PEGASIS 算法的传送延迟, Lindsey 等人提出了二进制数据融合和 3 层数据融合的改进方案<sup>[15]</sup>.若节点具有 CDMA 功能,则在 PEGASIS 链相邻节点之间并行地对数据进行二进制融合.否则采用 3 层融合算法.

PEDAP 协议<sup>[11]</sup>进一步发展了 PEGASIS 协议. PEDAP 协议把传感器网络的所有节点构造成一棵最小汇集树. PEDAP 假定基站知道网络中所有节点的位置信息,并且基站可以根据无线通信模型预知网络中任意节点的剩余能量.每过一定轮数后,基站重新计算路由信息用来排除死亡节点.所有节点在设置阶段中只需接收基站发送的路由消息即可. PEDAP 在设置阶段所消耗的能量小于 LEACH 和 PEGASIS 在成簇阶段所消耗的能量.

上述这些方法都存在一些问题. LEACH 算法随机选取簇首节点,网络性能具有很大的随机性:

- 1) 算法很难保证簇首节点在网络中均匀分布;
- 2) 没有考虑网络节点密度,当密度很大时,簇首节点增多,造成不必要的远距离通信开销;
- 3) 没有考虑簇首节点与基站的距离

PEGASIS 算法建立在网络全局信息能够被所有节点知道的基础上,在实际应用中存在以下问题:

- 1) 由于节点能力有限,单个节点很难保存网络的全局信息;
- 2) 当节点意外死亡时,需要重新广播全局信息;
- 3) 容错性不佳,若 PEGASIS 链上的任一节点意外死亡则从链端到该节点的所有数据将丢失.

本文提出的多层回溯协议(MTP)是对 PEGASIS 和 PEDAP 协议的综合和改进. MTP 协议通过检测基站信号的强弱来确定节点和基站的距离,并根据节点与基站的距离将网络中所有节点划分成若干层.节点的数据通过距离基站更近的邻接节点逐层向基站靠近.这点和 PEDAP 协议类似,但 MTP 中路由选择由节点自身完成,不需要基站集中管理.然后, MTP 采用类似 PEGASIS 的方法,在所有距离基站最近的节点中选择一个节点与基站通信.

## 2 系统模型

### 2.1 网络模型

MTP 假定传感器网络中的各节点随机均匀分

布在一个方形区域内,并且具有如下性质:

- 1) 惟一的基站部署在网络外部较远的位置;
- 2) 每个节点有惟一的标识;
- 3) 传感器节点部署后不再移动;
- 4) 所有节点平等,具有相同的计算和通信能力;
- 5) 节点的地理位置信息不可知;
- 6) 发射节点与不同距离的接收节点通信时,可以调整发射功率.

本文采用了与文献[7]相同的能量衰减模型.节点发送数据时消耗的能量由式(1)计算,而节点接收数据所消耗的能量由式(2)计算:

$$E_{rx}(k) = kE_{elec}. \quad (2)$$

MTP 采用了数据聚合技术来减少发送和接收的数据量,达到节省能量的目的. MTP 算法假定数据聚合的能力为  $NK = K$ ,其中  $N$  表示传感器网络中所有节点的数量, $K$  表示数据包长度.

## 2.2 节点信息

MTP 协议将传感器网络中的所有节点按距离基站的远近分层,在系统初始化时为每个节点设定一个层  $ID$ . 具有相同层  $ID$  的节点处于同一层.它们到基站的距离基本上相同,与基站通信的能量开销也相近.距离基站越近则节点的层  $ID$  越小,第 3.1 节详细描述了层  $ID$  的设定过程.

在 MTP 中,层  $ID$  小的节点称为上层节点,层  $ID$  大的节点称为下层节点,层  $ID$  相同的节点称为同层节点.分层回溯是将节点的数据经过上层邻接节点的聚合和转发,最后传输到基站.因此,MTP 协议中每个节点需要维护两类信息:基本信息和网络连接信息.

对任意节点  $S_i$ ,基本信息包括节点  $ID$ 、层  $ID$ 、剩余能量、能量门限值、即四元组:

$(Node\_ID, Tier\_ID, Res\_Energy, Energy\_Threshold)$ .

节点  $ID$  是统一编码的.层  $ID$  表示节点距离基站的距离,在系统初始化时设定.剩余能量则记录节点当前剩余的能量.能量阈值用于判断节点是否具备充足的能量用来和基站通信.节点  $ID$  和层  $ID$  在传感器节点生命周期里都不改变.剩余能量将随节点的能量消耗动态改变.而能量门限值则由基站不定期广播,其作用在第 2.3 节有详细描述.

网络连接信息记录与本节点邻接的传感器节点的基本信息,包括节点  $ID$ 、层  $ID$  及剩余能量.连接信息用 3 个队列表示:父节点队列( $parents$ )、兄弟节点队列( $siblings$ )和子节点队列( $children$ ).这 3 个队列在系统初始化时构建,父队列存放层  $ID$  比自

己小的上层邻接节点,兄弟队列存放层  $ID$  和自己相同的同层邻接节点,子队列存放层  $ID$  比自己大的下层邻接节点.随着节点能量消耗,邻接节点将在父队列和子队列之间转移,即第 2.4 节所描述的顶层节点迁移.

## 2.3 数据传递路径

在 MTP 协议中,节点的数据经过父节点队列中的邻接节点逐层聚合转发,最后数据到达某个节点  $S_i$ .  $S_i$  的父节点队列为空,因而数据到达  $S_i$  后将不能沿着父节点方向转发. MTP 把具有这种性质的节点  $S_i$  称为顶层节点.在 MTP 协议中,顶层节点同时满足下列两个条件:

- 1) 父节点队列为空;
- 2) 节点本身剩余能量大于预设定的阈值 ( $Energy\_Threshold$ ),或兄弟队列中存在节点剩余能量大于预设定的阈值.

数据到达顶层节点后不再沿着父节点队列方向转发.假定网络连通性良好,MTP 协议采用了类似 PEGASIS 的办法将所有顶层节点构成一条链,并将所有数据汇聚到其中能量最强的节点,然后发送给基站.图 1 描述了 MTP 协议中数据逐层聚合转发的过程.因此,在 MTP 中每轮只有一个节点与基站直接通信.其他节点的数据都在网络内部以较小的能量转发和聚合.

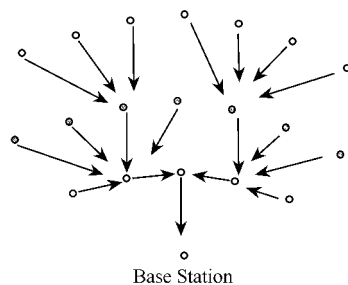


Fig. 1 Data tracing back.

图 1 数据回溯

## 2.4 顶层节点迁移

系统初始时,距离基站最近的节点成为顶层节点.因为顶层节点直接和基站通信,其能量消耗比非顶层节点快.当这些顶层节点的能量小于预先设定的阈值( $S_i \rightarrow Energy\_Threshold$ )时,它们不再具备和基站通信的资格.在这种情况下,MTP 算法把与基站通信的任务转交给距离基站稍远但能量充足的节点,如图 2 所示.在 MTP 中,这种机制称为顶层节点迁移.

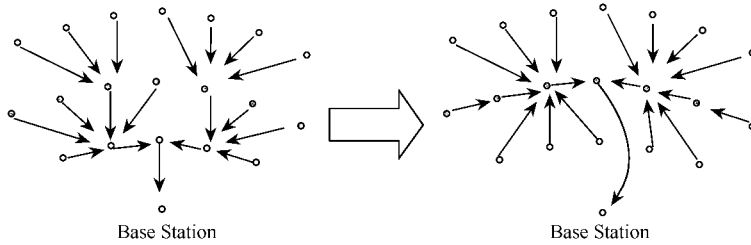


Fig. 2 Top-tier shifting.

图2 顶层节点迁移

通过顶层节点迁移,系统能够均匀地把能量损耗分布到网络中所有节点.在顶层节点迁移的情况下,顶层节点将自己与下层邻接节点的父子对换.对换的具体过程在第3.2节描述.

因此,MTP协议中数据的传递有2种情况:

1) 当父节点队列不为空时,数据通过父节点队列中的邻接节点传递;

2) 当父节点队列为空时:

① 当节点本身或兄弟队列中的同层节点能量充足时,数据在本层节点平行传递;

② 当节点本身及兄弟队列中的同层节点能量不足时,对换本节点与下层节点的父子关系.

随着网络能量不断消耗,顶层节点将由最靠近基站的节点迁移到最远离基站的节点.最后,系统中所有节点的能量都小于能量门限值  $Energy\_Threshold$ .因为在发送给基站的数据包中包含发送节点的剩余能量值,当基站发现发送节点的能量值小于  $Energy\_Threshold$  时,将  $Energy\_Threshold$  减半:

$$Energy\_Threshold = Energy\_Threshold/2.$$

然后基站将新的门限值广播给所有节点,距离基站最近的节点重新变回顶层节点.系统又开始新一轮的顶层节点迁移,直到网络能量耗尽.

### 3 协议描述

#### 3.1 节点分层

系统在初始化时将整个网络中的传感器节点根据到基站的距离远近划分为多个层次.在分层过程中,基站首先向网络中所有节点发送 LAYER 消息.每个节点根据 LAYER 消息的信号强弱来确定自己距离基站的远近.本文采用自由空间的衰减模型<sup>[16]</sup>:

$$P_{rx}(d) = P_{tx} \times \left( \frac{\epsilon}{d^2} \right), \quad (3)$$

其中,  $P_{tx}$  为基站发送功率,  $P_{rx}$  为接收到信号的功率,  $d$  为发送距离,  $\epsilon$  是衰减系数.  $P_{tx}$  通常设置为常量,因此传感器节点到基站的距离可以用式(4)计算:

$$d = \frac{\gamma}{\sqrt{P_{rx}}}, \quad (4)$$

$\gamma$  为常量.设  $D$  为层半径大小(通常取  $d_0/2$ ),若  $k \times D < d < (k+1) \times D$ ,则节点将自己的层 ID 记为  $k$ .

层 ID 确定后,节点  $S_i$  发送消息 *broadcast* (*ANNOUNCE*, *Node-id*, *Tier-id*, *Res-Energy*),向邻接节点报告自己的节点标识、层 ID 及剩余的能量.然后,节点  $S_i$  监听邻接节点的 *ANNOUNCE* 消息.根据收到 *ANNOUNCE* 消息的 *Tier-ID* 值确定邻接节点的方向(靠近或远离基站),然后将邻接节点  $S_j$  (*Node-ID*, *Tier-ID*, *Res-Energy*)放入对应的队列中.

#### 3.2 数据回溯

在数据回溯过程中,节点  $S_i$  先接收来自子节点的数据,然后将所接收到的数据与自身数据聚合.非顶层节点从父节点队列中选择能量最强的邻接节点,将数据转发给该节点.顶层节点则使用第3.3节描述的方法选择一个能量最强的顶层节点与基站通信.

当某顶层节点的能量不足,并且其兄弟队列中所有邻接节点的能量也都小于设定的阈值时,该节点需要与邻接的下层节点对换父子关系:

1) 将该节点子队列中的邻接下层节点转移到父队列中;

2) 将该节点从对应下层节点的父队列中转移到子队列中.

#### 3.3 顶层节点数据转发

顶层节点的数据传送采用类似 PEGASIS 的方法.顶层节点  $S_i$  检测自己的兄弟节点队列,如果其中没有剩余能量大于自己的节点,则向兄弟节点队列中的所有节点发送 (*HEADER*,  $S_i \rightarrow Node\_ID$ ,  $S_i$

$\rightarrow Res\_Energy, source = S_i \rightarrow Node\_ID$ )消息,其中  $source$  参数记录转发  $HEADER$  消息的节点. 其邻接节点  $S_j$  收到该  $HEADER$  消息后,将  $source$  参数替换为  $S_j \rightarrow Node\_ID$ ,再将消息转发给自己的邻接节点. 如果节点收到多个  $HEADER$  消息,则选择剩余能量最高的消息转发,并将剩余能量低的消息丢弃.

## 4 性能分析

### 4.1 参数设置

网络寿命使用 3 个时间来衡量:第 1 个节点死亡的时间(FND)、最后一个节点死亡的时间(LND)和一半节点死亡的时间(HND). 本文实验中主要考察 MTP, LEACH 和 PEGASIS 协议下网络的 FND 和 LND 时间,对比 3 种协议的性能. 实验使用 GlomoSim 作为无线传感器网络的模拟实验平台,网络的参数设置如下:

- 1) 实验中使用两个网络区域  $100m \times 100m$  和  $200m \times 200m$ ,区域左下角为坐标原点(0,0);
- 2) 传感器节点均匀随机分布在区域中,设置了两种节点密度,节点总数分别为 100,200;
- 3)  $d_0$  设置为 60m;
- 4) MTP 协议的层半径选择为  $d_0$  的一半 30m,这也是 LEACH 中的簇半径;
- 5) 基站位于网络正下方,设置了 6 个基站距离,分别为 100m,150m,200m,250m,300m,350m;
- 6) 数据包大小为 512B;
- 7) 收发电路的功耗设置为 50nJ/B;
- 8) 自由空间衰减参数设置为  $12pJ/B/m^2$ ;
- 9) 多路衰减参数设置为  $0.0012pJ/B/m^4$ ;
- 10) 节点的初始能量设置为 6.4J;
- 11) 节点能量门限值  $Energy\_Threshold$  初始设为 0.256J,当节点能量小于 0.002J 时,认为该节点死亡.

### 4.2 实验结果及分析

图 3 和图 4 是时间(数据收集的次数)和死亡节点数量之间的关系. 两者都是用  $100m \times 100m$  的网络区域,基站位于网络正下方 100m 处. 图 3 中有 100 个传感器节点随机均匀分布;图 4 的节点密度是图 3 的两倍,有 200 个节点. 从实验结果可以看到,节点直接与基站通信时(DIRECT)网络寿命最短. MTP 与 PEGASIS 的 LND 时间相近,但是 MTP 的 FND 时间相比 PEGASIS 有很大提升. 在 MTP 中,FND 与 LND 几乎相同,节点的死亡都集中在最

后的几轮中. 因此在网络生命期的后期 MTP 对环境的监测数据更加准确可靠. 图 4 中 MTP 和 PEGASIS 的节点死亡时间相对图 3 有很大提高. 这说明提高节点密度将延长网络的寿命,而节点密度对 LEACH 和 DIRECT 几乎没有影响.

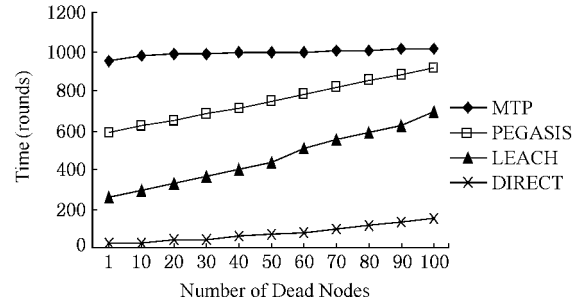


Fig. 3 Deed nodes vs. time (100 nodes).

图 3 死亡节点与时间(100 个节点)

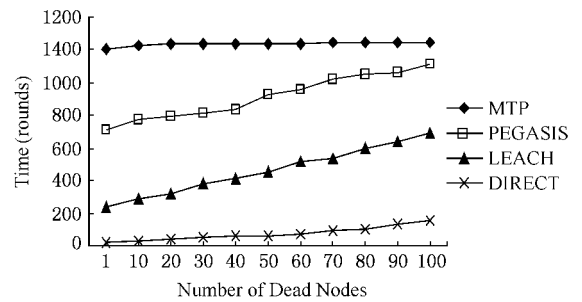


Fig. 4 Deed nodes vs. time (200 nodes).

图 4 死亡节点与时间(200 个节点)

表 1 列举了 LEACH, PEGASIS, MTP 在数据收集时的平均延时(从节点产生数据到基站收到数据的延时). 由表 1 可见,网络区域的大小和节点密度对 LEACH 的延时几乎没有影响;PEGASIS 受节点数量的影响很明显;而 MTP 同时受网络区域大小和节点密度的影响,但延时明显小于 PEGASIS.

Table 1 Delay of Data Gathering

表 1 数据收集延时

Protocol	100 Nodes (100m×100m)	100 Nodes (200m×200m)	200 Nodes (100m×100m)
LEACH	25	27	26
PEGASIS	246	248	517
MTP	91	63	175

图 5 和图 6 显示了网络寿命与基站距离远近的关系. 随着基站距离的增加,网络寿命在各协议下都缩短. MTP 和 PEGASIS 的曲线相对下降速度较慢. 这是因为 MTP 和 PEGASIS 都只有一个节点直接与基站通信,因而受基站距离的影响相对较小.

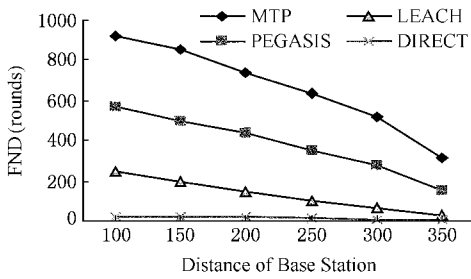


Fig. 5 FND vs. distance of base station.

图 5 基站距离与 FND

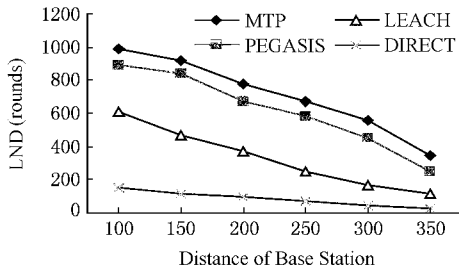


Fig. 6 LND vs. distance of base station.

图 6 基站距离与 LND

## 5 结论及将来的工作

本文提出了一种分布式的高效节能的传感器网络数据收集和聚合协议,网络中节点根据与基站的远近划分成不同的层次.协议优先选择能量充足并且距离基站最近的节点直接与基站通信,其他节点的数据则通过邻接节点逐层聚合和转发,最后传送到该节点上.因为与基站通信的能量代价太高,直接与基站通信的节点能量消耗很快.当距离基站近的节点能量过低时,协议将选择距离基站较远的节点直接与基站通信.通过顶层节点迁移机制,MTP协议能够很好地将能量损耗均匀分布到所有节点.

MTP算法假定节点随机地均匀分布在网络中,网络具有很好的连通性.当网络节点分布不均时,某些节点成为连接多个区域的关键节点.如果这些节点死亡,网络节点将被迫提高发送能级来获得连通性.我们下一步的工作将试图找出这些关键节点,并减少这些节点的能量消耗,延长寿命.

## 参 考 文 献

- [1] A Cerpa, D Estrin. ASCENT: Adaptive self-configuring sensor networks topologies [C]. In: Proc of the IEEE INFOCOM 2002. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2002. 272-285
- [2] V Kawadia, P R Kumar. Power control and clustering in ad hoc networks [C]. In: Proc of the IEEE INFOCOM 2003. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2003. 459-469
- [3] J Kulik, W R Heinzelman, H Balakrishnan. Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks [J]. ACM Wireless Networks, 2002, 8(2): 169-185
- [4] F Kuhn, T Moscibroda, R Wattenhofer. Fault-tolerant clustering in ad hoc and sensor networks [C]. In: Proc of the 26th IEEE Int'l Conf on Distributed Computing Systems (ICDCS '06). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2006. 1579-1584
- [5] K Sohrabi, J Gao, V Ailawadhi, et al. Protocols for self-organization of a wireless sensor network [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5): 16-27
- [6] Yang Wenguo, Guo Tiande, Zhao Tong. Routing algorithms of the wireless sensor network based on dynamic programming [J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 43(5): 890-897 (in Chinese)  
(杨文国, 郭田德, 赵彤. 基于动态规划的无线传感器网络的路由算法 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 43(5): 890-897)
- [7] Heinzelman W R. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670
- [8] S Bandyopadhyay, E Coyle. An energy-efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks [C]. In: Proc of the IEEE INFOCOM 2003. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2003. 1713-1723
- [9] W R Heinzelman, J Kulik, H Balakrishnan. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks [C]. In: Proc of the 5th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2001. 174-185
- [10] S Lindsey, C S Raghavendra. Pegasus: Power-efficient gathering in sensor information systems [C]. In: Proc of IEEE Aerospace Conference 2002. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2002. 1-6
- [11] H O Tan. Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks [J]. SIGMOD Record, 2003, 32(4): 66-71
- [12] O Younis, S Fahmy. Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach [C]. In: Proc of the IEEE INFOCOM 2004. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2004. 630-640
- [13] Tang Yong, Zhou Mingtian, Zhang Xin. Overview of routing protocols in wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2006, 17(3): 410-421 (in Chinese)  
(唐勇, 周明天, 张欣. 无线传感器网络路由协议研究进展 [J]. 软件学报, 2006, 17(3): 410-421)
- [14] A Manjeshwar, D P Grawal. TEEN: A protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks [C]. In: Proc of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2001. 2009-2015

- [ 15 ] S Lindsey , C S Raghavendra , K Sivalingam . Data gathering in sensor networks using the energy-delay metric [ C ] . In : Proc of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing . Los Alamitos , CA : IEEE Computer Society Press , 2001 . 2001-2008
- [ 16 ] TK Sarkar , Z Ji , K Kim , *et al.* . A survey of various propagation models for mobile communication [ J ] . IEEE Antennas and Propagation Magazine , 2003 , 45 ( 3 ) : 265-269



**Liu Xin** , born in 1976 . Received his Ph. D. degree in 2004 . Now lecturer . Member of China Computer Federation ( CCF ) . His main research interests include real-time systems and distributed systems .

刘 昕 , 1976 年生 , 博士 , 讲师 , 中国计算机学会会员 , 主要研究方向为实时系统、分布式系统 .



**Wang Quanyu** , born in 1968 . Ph. D. , and associate professor . Member of CCF . He is currently associate professor . His main research interests include networks and VR .

王全玉 , 1968 年生 , 博士 , 副教授 , 中国计算机学会会员 , 主要研究方向为计算机网络、虚拟现实 .



**Jin Xuliang** , born in 1974 . Master , lecturer . Member of CCF . He is currently a lecturer . His main research interests include software engineering and distributed systems .

金旭亮 , 1974 年生 , 硕士 , 讲师 , 中国计算机学会会员 , 主要研究方向为分布式系统、软件工程 .

## Research Background

Energy-efficiency is one of the key factors to prolong the lifetime of wireless sensor networks . In wireless sensor networks , energy-saving can be achieved either by reducing the energy consumed by data processing or by reducing the energy consumed by communications . From the communications point , this paper presents a distributed , energy-efficient data gathering and routing protocol for wireless sensor networks . By measuring the signal strength from the base station , a sensor node can detect the distance between the base station and itself . Thus , all sensor nodes can be divided into multiple tiers according to the distance between the node and the base station . Within a tier , nodes have approximately the same distance towards the base station . Tiers closer to the base station are assigned lower tier IDs .

In this system , nodes send their data to their neighbors who have lower tier IDs . Thus , the data is aggregated and forwarded toward the base station and it finally reaches the top-tier nodes which have the lowest tier ID . Then all top-tier nodes elect a node to communicate with the base station . Because long-distance communication with the base station is energy-consuming , this work proposes the top-tier shifting mechanism which shifts the long-distance communication among all network nodes . Therefore , energy consumption is evenly distributed among all network nodes . The algorithm effectively reduces energy consumption of communications and prolongs the lifetime of wireless sensor networks .