

# 无线传感器网络中一种改进的 Leach 协议

李婵婵,解培中

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**无线传感器网络路由协议设计的主要目标就是尽可能高效地利用传感器节点能量来延长无线传感器网络的生存时间。文中分析了经典的分层路由协议—Leach 协议,对选择簇头的门限值进行了重新定义,考虑了传感器节点剩余能量和此节点最近未当选为簇头的轮数,并对每个簇内成员的数量进行了限制,为进一步节省能量消耗在簇头到基站之间还使用了多跳通信。Matlab 仿真结果表明,改进的路由协议比 Leach 协议更有效地利用无线传感器网络传感器节点的能量,延长了网络的生存时间。

**关键词:**无线传感器网络;路由协议;分簇;能量有效性

中图分类号:TN393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)10-0087-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.022

## An Improved Leach Protocol in Wireless Sensor Networks

LI Chan-chan, XIE Pei-zhong

(College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts  
and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Wireless sensor network routing protocol is to prolong the survival time of wireless sensor networks by using the sensor nodes energy efficiently. In this paper analyze the classical hierarchical routing protocol—Leach, redefine the threshold in the cluster head selection, consider the residual energy of the sensor node and the number of rounds the present node not selected as cluster head, limit the number of members for each cluster, and use multi-hop communication between the base station and cluster heads. Matlab simulation results show that the improved routing protocol can make more efficient use of the energy of sensor nodes than Leach protocol, extending the network lifetime.

**Key words:** wireless sensor network; routing protocol; clustering; energy efficiency

## 0 引言

无线传感器网络是由大量低功率的微小传感器节点构成的自组织分布式网络。这些传感器节点具有无线通信能力、有限的计算能力和有限的存储能力,它们能根据基站发出的指令有效地感知、采集和处理网络覆盖区域中的相关信息,并把这些信息发送给基站完成进一步的处理。近年来,无线传感器网络已经变得无处不在,它们是当前通信网络中备受关注的前沿研究领域。无线传感器网络已经被应用在许多领域中,如军事、医疗、环境监测、工业控制、智能家居、抢险救灾等<sup>[1-6]</sup>。

Leach<sup>[7]</sup>(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)协议是第一个无线传感器网络的分层路由协议。

它是一个周期性的路由协议,在每个周期中使用传感器产生的随机数来进行簇头选择,选择的簇头负责收集簇内成员采集的数据,然后把这些采集的数据进行融合处理后发送给基站。TEEN<sup>[8]</sup>协议是对 Leach 协议的一种改进协议,它与 Leach 协议的分簇方式是相似的,但是在数据传输过程中使用了不同的方式。TEEN 协议中定义了软、硬两种门限值,通过调节软硬阈值的大小,可以在系统能耗和精度要求之间进行调节。PEGASIS<sup>[9]</sup>协议是在 Leach 协议基础上提出来的,它主要是采用贪婪算法把传感器网络中的所有节点组成一个链结构与基站进行通信。实际上,PEGASIS 协议并不是严格意义上的分簇算法,只是借鉴了 Leach 协议分簇的思想。Leach-E<sup>[10]</sup>协议改进的核心

收稿日期:2013-01-14

修回日期:2013-04-20

网络出版时间:2013-07-24

基金项目:2010 年普通高校研究生科研创新计划(自然科学类)(CX10B\_187Z);南京邮电大学校科研基金(NY210006)

作者简介:李婵婵(1986-),女,山西临汾人,硕士研究生,研究方向为无线传感器路由协议;解培中,副教授,研究方向为电子系统和无线通信中的信号处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.0945.009.html>

是对簇头选择时门限值进行了重新定义,同时为了解决“热点地区”问题,根据簇头节点与基站的距离的不同,提出对每个簇内成员的数量进行限制的改进算法。EHRP<sup>[11]</sup>协议中主要的特点是在路径选择中使用了路由树构建多跳路由。BMR<sup>[12]</sup>协议,是静态分簇协议,针对动态周期性分簇的过程中花费了很多能量进行交换控制信息提出来的。然而静态分簇不能使整个网络的能量均衡消耗,以及不能适应网络自适应性的特点。

针对如何高效地利用传感器节点有限能量的问题,文中通过分析经典的分层路由协议—Leach 协议,提出了一种改进的路由协议,对簇头选择时门限值进行了重新定义,考虑了传感器节点剩余能量和此节点最近未当选为簇头的轮数,并且对每个簇内成员的数量进行了限制,簇头到基站之间使用了多跳通信。通过以上几点改进后可以更有效地利用节点能量,达到延长无线传感器网络生存时间的目的。

## 1 Leach 协议

### 1.1 Leach 算法

Leach 协议是由 W. B. Heinzelman 首次提出来的。这个协议是周期性的路由协议,它提出了轮的概念即把每个周期称为一轮。每一轮又分为两个阶段:簇建立阶段和稳定阶段。簇建立阶段主要是完成簇头的选择以及簇的形成。簇头选择具体过程是:由每个传感器节点产生一个 0 到 1 之间的一个随机数,然后把这个随机数与一个门限值  $T(n)$  进行比较,如果这个随机数小于门限值  $T(n)$ ,则该节点就成为簇头节点并把自己成为簇头的消息广播给周围的其他传感器节点。 $T(n)$  公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times \lceil r \bmod (1/p) \rceil} & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

公式中, $p$  是簇头节点占总节点最理想的百分比; $r$  是当前的轮数; $G$  是在最近的  $1/p$  轮还没有成为簇头节点的节点集合。

从这个公式  $T(n)$  我们可以看出,簇头节点都是从最近  $1/p$  轮没有当选为簇头的节点中选择出来的,如果节点在最近几轮一直未当选为簇头节点,那么它的门限值就会变大,这样随机产生的数就更容易小于这个门限值,因此这个节点就更容易当选为簇头。

簇头节点形成后,发送一个广播消息给周围的邻居节点。每个非簇头节点会收到许多簇头节点发送来的广播消息,非簇头节点选择加入接收到最强广播消息的那个簇头节点中。然后非簇头节点回复给它选择加入的簇头节点一个加入消息。最后簇头节点创建一个 TDMA 调度表,同时为每个加入它的簇成员分配一

个 CDMA 扩频码,这个 CDMA 码是为了减小数据通信阶段簇成员节点之间的相互干扰。簇头节点把含有 TDMA 调度表和 CDMA 码等内容的消息广播给簇内的每个成员。

稳定阶段主要完成传感器节点与基站之间的数据通信。簇形成以后直到这一轮结束的时间内,每个簇成员节点把采集的数据在自己的时隙内发送给簇头节点,簇头节点把簇内成员的数据进行融合处理后直接发送给基站。

### 1.2 Leach 协议缺点

(1) 簇头选举的过程中,门限值的设定没有考虑节点的剩余能量,这样导致即使剩余能量很小的节点也可能当选为簇头,因此不仅使节点的死亡速度加快,降低了网络的生存时间,而且也可能由于簇头节点能量消耗殆尽导致产生监测盲区。

(2) 簇头的选举很大程度上依赖于生成的随机数,随机数无法保证选举的簇头数量一直保持在一个理想的值,整个网络内簇头数量的不同导致每个簇的簇内成员数量有很大的不同,因此出现簇头能量消耗不均衡的状况,不能达到均衡整个网络节点能量消耗的目的。

(3) 所有簇头节点与基站直接通信,这样导致离基站近的簇头消耗能量小,距离基站远的簇头消耗能量大。

(4) 频繁的动态分簇需要大量的控制信息,导致了节点的能量不能充分利用。

## 2 改进的路由协议

基于以上 Leach 协议的缺点,文中对其进行了改进并提出了新的路由算法。主要在三方面进行了改进:

改进路由协议的流程图如图 1 所示。

(1) 簇头的选择。门限值的设定中加入了剩余能量和当前节点未当选为簇头的轮数这两个因素,改进的  $T(n)$  的计算公式如下:

$$T(n) = \frac{p}{1 - p \times \lceil r \bmod (1/p) \rceil} \times \frac{E_{\text{rest}}}{E_0} \times (1 + \frac{R_s}{1/p}) \quad (2)$$

其中, $E_{\text{rest}}$  表示当前节点的剩余能量; $E_0$  表示当前节点的初始能量; $R_s$  表示当前节点最近未当选为簇头节点的轮数。其他参数同公式 1 的参数一致。

从改进的门限值公式可以看出,如果当前节点的剩余能量越高,未当选为簇头的轮数越多,那么门限值就越大,因此当前节点就更容易当选为簇头节点。在每轮中,节点当选为簇头后  $R_s$  变为 0,许多改进的门限值公式只是考虑了节点的剩余能量,如果加入当前节

点未当选为簇头的轮数,可以让节点当选为簇头的机会更加平均。

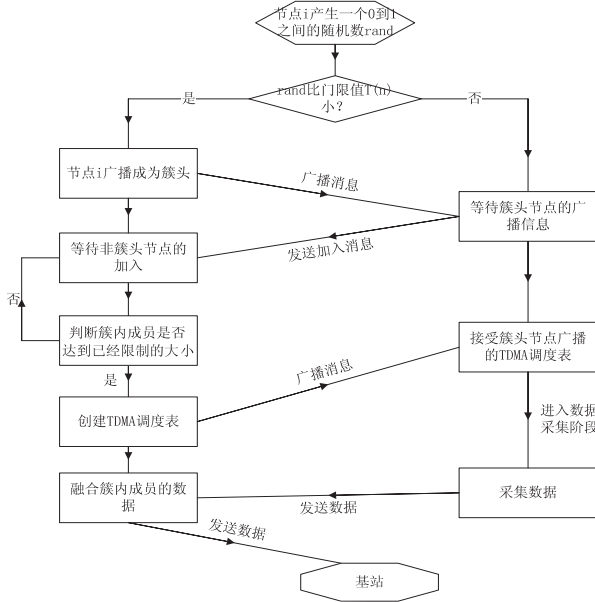


图 1 改进路由协议的流程图

(2) 对簇的大小进行限制。文中簇头的选择还是同 Leach 一样通过随机数与门限值的比较来判断是否成为簇头,为了解决这个热点地区能量消耗的问题,采用对簇的大小进行限制来实现。簇的大小通过簇头节点距离基站的距离和簇头节点的剩余能量来决定,距离基站近的簇成员要少,距离基站远的簇成员要多,同时如果簇头的剩余能量少则簇成员相对会更少,反之簇成员相对更多。通过设置,距离基站近的簇头节点形成比较小的簇,这样就能节省能量来承担其他簇头数据的转发任务,更好地均衡网络能量的消耗。

具体实现过程如下:

在簇建立阶段,传感器的每个节点都发送给基站一个消息,通过节点与基站单跳通信来实现。基站根据接收节点信号的强度大小计算出与基站最远的节点的距离  $D_{\max}$  和与基站最近的节点的距离  $D_{\min}$ 。基站计算处理结束后,基站广播给网络内所有节点一个消息,这个消息中包含  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  信息,每个节点接收到这个广播消息后,根据节点接收广播信号的强度大小计算出该节点与基站的距离  $D_{(i)-\text{sink}}$ ,同时把广播消息中包含的  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  一起存储在节点中。这个过程只是在第一轮簇建立阶段进行,之后的每轮都不需要再重复进行。簇头的选举同 Leach 协议一样,都是根据产生的随机数与新的门限值的比较来判断是否成为簇头节点。一旦节点  $i$  被选为簇头后,簇头根据如下公式来决定簇的大小。

$$M = \left(1 + \frac{D_{(i)-\text{sink}} - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}}\right) \times \left(1 + \frac{E_{\text{rest}}}{E_0}\right) \quad (3)$$

$$\text{CH}(i)_{\text{member}} = M \times p \times N \quad (4)$$

其中,  $D_{\min}$  表示传感器节点距离基站最近的距离;  $D_{\max}$  表示传感器节点距离基站最远的距离;  $D_{(i)-\text{sink}}$  表示当前节点  $i$  距离基站的距离;  $E_{\text{rest}}$  表示当前节点的剩余能量;  $E_0$  表示当前节点的初始能量;  $\text{CH}(i)_{\text{member}}$  表示簇头  $i$  内成员数量;  $N$  表示总的节点数。

从公式中可以看出  $\text{CH}(i)_{\text{member}}$  与节点距离基站的距离呈线性关系,与节点的剩余能量同样也是线性关系。距离基站越远,剩余能量越大则  $M$  值越大,则  $\text{CH}(i)_{\text{member}}$  也越大;反之  $\text{CH}(i)_{\text{member}}$  也越小即表示簇内成员数越少。在簇头节点接收非簇成员的加入消息时,如果簇内成员小于  $\text{CH}(i)_{\text{member}}$  值,则允许加入该簇,反之则不能加入该簇。可能会产生某些节点不能加入任何一个簇,这样的单独节点在每轮中如果它采集的数据与前一次数据相比超过某个门限值,则直接与基站进行通信,反之则不发送数据到基站。

(3) 簇头与基站之间的数据通信通过多跳路由来完成。实现过程:每个簇头节点接收到簇内成员的数据后,进行融合处理,然后寻找距离自己最近的下一跳簇头节点,要求下一跳簇头节点比当前簇头节点距离基站的距离要更近。下一跳簇头节点接收到数据后与自己当前数据进行融合后发送到距离基站更近的下一跳簇头节点,以此类推,最后由距离基站最近的簇头节点把数据发送给基站。

### 3 仿真和分析

为了评估改进路由协议的性能,文中通过 MATLAB 仿真了改进路由协议(Leach-advanced)和 Leach 协议,并且对两个仿真结果进行了比较。

#### 3.1 能量模型

不同的无线电模型的能量消耗不同,因此对路由协议有很大的影响。文中改进的路由协议中节点使用的能量消耗模型与 Leach 协议的相同,使用第一顺序无线电模型(first order model)。在无线电传输过程中,信号能量的衰减与发送端和接收端的距离  $d$  有关。对于发送端来说,节点发送  $l$  比特的数据需要消耗的能量公式如下:

$$E_{\text{TX}}(l, d) = \begin{cases} lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{fs}} \times d^2, & d < d_0 \\ lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{mp}} \times d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$d_0 = \sqrt[4]{\epsilon_{\text{fs}}/\epsilon_{\text{mp}}} \quad (6)$$

其中,  $E_{\text{elec}}$  表示发送单位比特电路需要消耗的能量;  $\epsilon_{\text{fs}}$ ,  $\epsilon_{\text{mp}}$  表示这两种不同的模型进行功率放大所需要的能量;  $d_0$  表示距离的一个门限值;当发送距离小于  $d_0$  时,发送功率放大器能量消耗是基于自由空间模式,能量消耗与  $d^2$  成比例。当发送距离大于或等于  $d_0$  时,发送功率放大器能量消耗是基于多径天线模式,能



量消耗与  $d^4$  成比例。节点接收  $l$  比特数据消耗的能量公式如下:

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = l \times E_{elec} \quad (7)$$

### 3.2 网络模型

不同的路由协议适用于不同的网络模型,网络模型的不同对于路由协议也存在非常大的影响。文中使用的网络模型跟 Leach 协议的一致,如下:

1) 基站是固定的,基站可以自己提供能量,同时具有很强的数据处理能力和存储能力,基站位于距离传感器网络比较远的位置。

2) 传感器网络中的所有节点都是相同类型的,即传感器节点的各种性能指标都是相同的没有任何区别。传感器节点的能量是由电池提供,即能量是受限制的。

3) 传感器的节点不可以移动,是静止的。

4) 传感器节点可以使用不同的发送功率。

### 3.3 仿真参数

仿真参数的不同设定同样对不同路由协议的性能也会产生不同的结果。文中使用的仿真参数与 Leach 协议一致,如下:

1) 网络区域大小:  $200 \times 200$ ;

2) 基站节点的坐标: (100, 250);

3) 无线传感器网络中总的节点数: 200;

4) 节点每次发送的数据包的大小: 4 000 bit;

5) 节点发送的控制包的大小: 100 bit;

6) 每个节点的初始能量: 0.5 J;

7) 发送单位比特电路需要消耗的能量  $E_{elec}$ : 50 nJ/bit;

8) 功率放大倍数  $\varepsilon_{fs}$ :  $10 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})$ ;

9) 功率放大倍数  $\varepsilon_{mp}$ :  $0.0013 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})$ ;

10) 融合单位比特需要消耗的能量: 550 nJ/bit。

### 3.4 仿真结果

图 2 描述了网络中存活节点数随着网络轮数的变化图。Leach 协议在 300 轮之后,节点就开始迅速的死亡

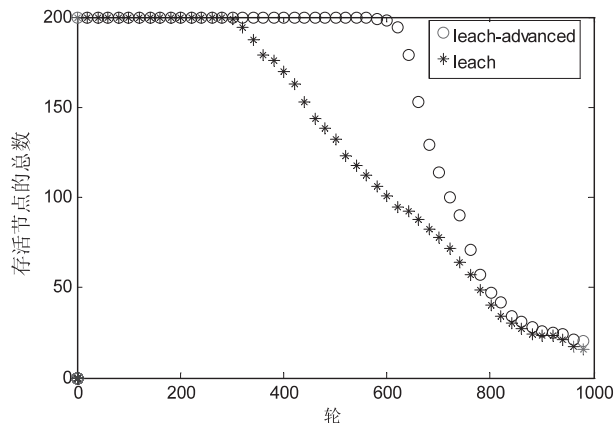


图 2 两种算法存活节点数的比较

亡,在 1 000 轮的时候传感器网络中节点已经基本上全部死亡。而 Leach-advanced 从 600 轮之后才开始死亡。可以得出,改进的路由协议使无线传感器网络的生存时间大大延长。

图 3 为整个网络所有簇头节点能量消耗随着网络轮数的变化图。改进的路由协议根据节点距离基站位置的不同和簇头节点剩余能量的大小来限制簇的大小,这样均衡了整个网络中簇头节点能量的消耗。从图中可以看出,相对于 Leach 协议,Leach-advanced 在簇头能量消耗方面有了很大的改进。

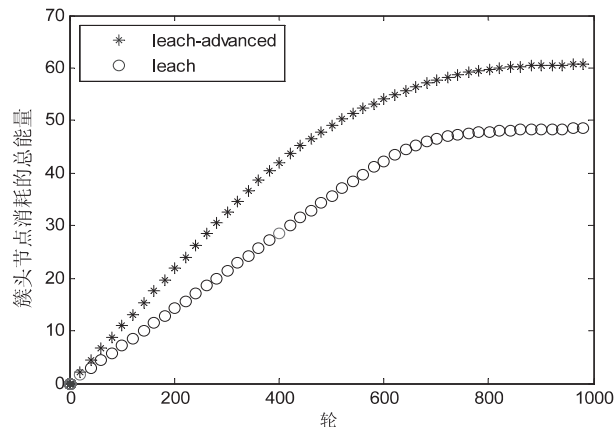


图 3 两种算法簇头消耗总能量的比较

## 4 结束语

文中首先研究了 Leach 协议,针对 Leach 协议的簇头选择时没有考虑节点剩余能量和簇头节点与基站单跳通信消耗大量能量的不足,进行了分析和研究并提出了改进的路由协议(Leach-advanced)。Leach-advanced 协议不仅在簇头选择方面考虑了节点的剩余能量和簇头节点与基站使用多跳通信,而且考虑了多跳路由由通信过程中簇头节点不均衡的能量消耗问题。采用簇头节点距离基站位置的不同和簇头节点的剩余能量来限制簇的大小,均衡簇头节点能量的消耗。MATLAB 仿真的结果显示,改进的路由算法很大程度上延长了整个网络的生存时间。由于在簇的形成阶段中需要大量控制信息的交换,导致能量不能高效利用,在以后需要进一步研究。同时对于簇的大小进行更合理设置,就可以减少不能加入簇的单独节点的数量,会更有利于节省能量的消耗,有待进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] 王东,陈志强.无线传感器网络 LEACH 路由协议的研究与改进[J].信息系统工程,2011(5):76-78.
- [2] 杨伟伟,刘润杰,申金媛.一种基于 LEACH 的高效节能协议[J].传感技术学报,2010,23(8):1153-1157.
- [3] 孙利民.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,

Switch,使之兼容各种处理器( x86、MIPS、ARM 等)和操作系统( Windows、Linux 等),这是使用现阶段的 Switch 构建服务器系统的关键。PLX、IDT、LSI 等公司生产的 MR Switch 芯片支持的上游端口数量并不多,这不利于大规模部署数据中心数量庞大的服务器系统。如何利用现有的 Switch 来设计数据中心互连体系结构,实现数据中心的平稳升级,这也是当前需要研究的问题。

4 结束语

PCI Express 的提出统一了局部 I/O 总线,I/O 虚拟化成为数据中心基础架构的重要研究课题。MR-IOV 的提出使 I/O 设备与机箱分离,形成外设网络,使对 I/O 资源的集中高效管理与利用成为可能。文中通过分析 PCIe I/O 虚拟化技术(MR-IOV)及其在数据中的应用,勾勒出下一代数据中心 I/O 互连的拓扑结构及部署情况,分析了 MR-IOV 实现的难度以及现阶段 MR 系统方案的问题,对工程技术人员研究新型数据中心架构有一定的参考意义。

参考文献:

[1] Wilen A H,Schade J P,Thornburg R. Introduction to PCI express - A hardware and software developer's guide[M]. [ s. l. ] :Intel Press,2003.

[2] 英特尔开源软件技术中心,复旦大学并行处理研究所. 系统虚拟化-原理与实现[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

[3] PCI-SIG. Single root I/O virtualization and sharing specification[S]. 2007.

[4] PCI-SIG. Multi-Root I/O virtualization and sharing specification[S]. 2008.

(上接第 90 页)

2005;100-110.

[4] 朱仲英. 传感网与物联网的进展与趋势[J]. 微型电脑应用,2010,26(1):1-3.

[5] 朱沛胜,段世惠. 泛在网络发展现状分析[J]. 电信网技术,2009(7):18-22.

[6] 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.

[7] Heinzelman W R,Chandrakasan A,Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. [ s. l. ] :IEEE,2000:3005-3014.

[8] Manjeshwar A,Agrawal D P. TEEN:a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium.

[5] Chen Jyh-shing. Virtualization practices:Providing a complete virtual solution in a box[EB/OL]. 2012[2012-11-15]. <http://www.snia.org/education/tutorials/2012/fall#virtualization>.

[6] Rixner S. Network virtualization: Breaking the performance barrier[J]. ACM Queue,2008,6(1):36-43.

[7] Homölle B,Schräder B,Brütt S. Multi root I/O virtualization (MR-IOV) [C]//Proceedings of the 1. GI/ITG KuVS Fachgespräch Virtualisierung. Paderborn, Germany: [ s. n. ], 2008:11-18.

[8] 王 齐. PCI Express 体系结构导读 [M]. 北京:机械工业出版社,2010:358-362.

[9] PLX Technology, Inc. ExpApp 57 -8648 in bladed systems [EB/OL]. 2007[2012-11-15]. [http://www.plxtech.com/files/pdf/apps/ExpApp57\\_8648\\_Servers.pdf](http://www.plxtech.com/files/pdf/apps/ExpApp57_8648_Servers.pdf).

[10] Krishnan V. Towards an integrated IO and clustering solution using PCI express[C]//Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Cluster Computing. Austin, Texas, USA: [ s. n. ], 2007:259-266.

[11] IDT Corporation. Using PCI express as the primary system interconnect in multiroot compute, storage, communications and embedded systems (White Paper)[EB/OL]. 2008[2012-11-15]. <http://www.idt.com/document/idt-pcie-multi-root-white-paper>.

[12] Bert L. Accelerating storage performance in virtualized servers using SR-IOV and MR-IOV[J]. SNS Europe,2011(4):8-9.

[13] Waldspurger C,Rosenblum M. I/O virtualization[J]. Communications of the ACM,2012,55(1):66-72.

[14] Wong H. PCI express multi-root switch reconfiguration during system operation [D]. Massachusetts:Massachusetts Institute of Technology,2011.

um. San Francisco:IEEE Computer Society, 2001:2009-2015.

[9] Lindsey S,Raghavenda C S. PEGASIS:power efficient gathering in sensor information systems[C]//Proc of the IEEE Aerospace Conf. New York:IEEE Press,2002:1125-1130.

[10] Peng D,Zhang Q. An energy efficient cluster-routing protocol for wireless sensor networks[C]//Proc of ICCDA. [ s. l. ] :IEEE,2010:530-533.

[11] Mollanejad A,Khanli L M,Zeynali M, et al. EHRP: novel energy-aware hierarchical routing protocol in wireless sensor network[C]//Proc of ICUMT. [ s. l. ] :IEEE, 2010:970-975.

[12] Nawaz R,Hussain S A,Abid S A, et al. Beaconless multihop routing protocol for wireless sensor networks [C]//Proc of ICCSN. [ s. l. ] :IEEE,2011:721-725.

# 无线传感器网络中一种改进的Leach协议

作者：[李婵婵](#)，[解培中](#)，[LI Chan-chan](#)，[XIE Pei-zhong](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院](#), [江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(10)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201310022.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310022.aspx)