

# Optimized WSN Based on DSC and Residual Energy Awareness\*

Linbo Qing, Xiaohai He

School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu  
Email: qing\_lb@scu.edu.cn, hxx@scu.edu.cn

Received: Feb. 16<sup>th</sup>, 2013; revised: Feb. 27<sup>th</sup>, 2013; accepted: Mar. 9<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Linbo Qing, Xiaohai He. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** In order to prolong the life time of Wireless Sensor Network (WSN), Distributed Source Coding (DSC) and residual energy awareness have been introduced into WSN. The threshold for deciding the cluster head has been modified by additional awareness of residual energy ratio. Then the cluster head aggregates the nodes' data in current cluster using DSC, and transmit DSC data to sink. Experimental results have shown the introduction of both residual energy awareness and DSC have effectively balanced the load of the network, reduced the energy consumption of cluster head, upon which the WSN's lifetime increased.

**Keywords:** LEACH; Clustering; DSC; WSN

## 基于 DSC 及剩余能量感知的最优 WSN\*

卿飙波, 何小海

四川大学电子信息学院, 成都  
Email: qing\_lb@scu.edu.cn, hxx@scu.edu.cn

收稿日期: 2013 年 2 月 16 日; 修回日期: 2013 年 2 月 27 日; 录用日期: 2013 年 3 月 9 日

**摘要:** 针对无线传感器网络(WSN)网络生命周期问题, 将分布式信源编码(DSC)引入到 WSN 中, 结合低复杂度剩余能量最优分簇算法, 实现了最大化生命周期的最优 WSN 网络仿真设计分析。首先直接采用剩余能量比对分簇算法的阈值进行修订, 然后簇头采用 DSC 对其分簇中节点数据进行压缩汇集再传输到基站。试验结果表明, 剩余能量感知及 DSC 的引入有效均衡了网络负载, 降低簇头传输功耗, 提高了 WSN 的生命周期。

**关键词:** LEACH; 分簇; DSC; WSN

### 1. 引言

信息技术、计算机技术及无线通信技术的飞速发展, 为各种应用场合提供了各种技术革新的机遇, 而新的应用场合也对相关技术提出了新的要求。无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network)就是随着人们对恶劣环境不间断无人监测, 工业环境长时间自动

控制, 重大事件长时间监测等方面的应用需求而诞生的技术。WSN 主要由大量随机分布的集传感器、无线通信、自主组网等功能为一体的低功耗节点组成, 各节点对所在位置的数据进行连续采集、处理并最后传输到监控终端。灵活可靠的组网方式及极长的生命周期是 WSN 两个最典型的特点, 也是各种应用场合对 WSN 提出的要求。因此, 如何建立合理的路由协议及数据压缩算法来实现 WSN 的工作周期的最大化

\*基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20110181120009); 国家自然科学基金(61201388)。

是 WSN 领域的研究热点。

在数据压缩方面, 林蔚等<sup>[1]</sup>对目前的数据压缩算法进行了详细的综述, 除了针对节点自身的数据能够实现有效压缩以外, 节点间数据的相关性也提高了很大的压缩空间。然而针对节点间数据相关性的基于预测编码的压缩算法却需要各节点数据进行数据交互, 在减少了最终数据传输的同时却增加了数据交换的能源消耗。在建立合理路由协议的方面上, 无线传感器网络路由协议可以分为平面路由协议和分簇路由协议两种<sup>[2]</sup>, 后者更适用于大规模网络应用场合。为此 W. B. Heinzelman<sup>[3]</sup>等首先为分簇路由协议结构提出了 LEACH 算法, 在概率方面考虑所有节点作为簇首的公平性, 获得了比平面路由协议跟高的网络生命周期。在此基础上, 节点自身实际情况(如剩余能量、节点相对位置等)<sup>[4-7]</sup>被引入到簇首的选择中, 弥补了 LEACH 协议仅仅考虑概率的不足, 增加了 WSN 的生存周期。上述算法大多需要了解节点的相对位置<sup>[4,5,7]</sup>, 而目前大多计算相对位置的低功耗算法精度都不高<sup>[8]</sup>, Hu<sup>[6]</sup>等仅仅基于剩余能量来进行簇头选择, 然而却要求每个节点都知道当前整个网络的总能量。

为了在尽可能降低节点间不必要的通信传输及节点内部计算量, 本文综合考虑路由协议及数据压缩两个方面, 在 WSN 中引入了分布式信源编码(Distributed Source Coding, DSC)<sup>[9]</sup>, 实现了无须节点间通信就完成相邻节点相关性的挖掘, 同时基于文献[7]算法设计了简化的基于剩余能源的簇头选择算法。实验结果表明, 两部分研究成果都有效地提高了 WSN 的生命周期。

## 2. WSN 信源模型及路由结构

如图 1 所示, 设某一  $M \times M$  区域随机部署  $N$  个初始能量相同的传感器节点  $S_i, i \in [1, N]$  进行数据采集。每个传感器节点采集数据可用离散的随机变量  $X_i, i \in [1, N]$  来表示, 设  $X_i$  具有有限码字集合, 即  $X_i$  是对随机变量  $x_i$  进行量化后的结果。由于环境数据的空间相关性, 各随机变量是统计相关的, 其相关性可用所有的节点的联合概率分布  $p(X_1, X_2, \dots, X_N)$  表示。在节点间进行数据传输时, 任意一个时刻节点都分为两类, 簇头和普通节点。每一个簇头节点负责一个簇, 收集该簇中普通节点及自身的数据, 然后统一传输给

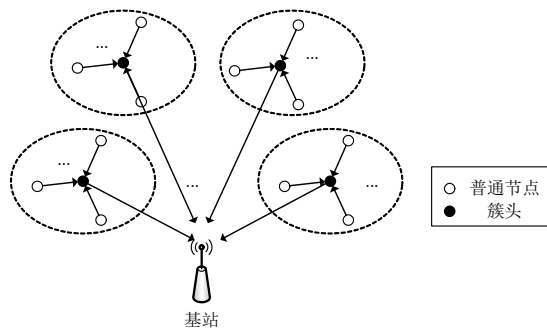


Figure 1. Topology of typical clustering protocol  
图 1. 典型分簇路由协议拓扑结构

基站。簇头的选择是随时间、空间变化的。整个采集传输系统的两个关键目标是: 1) 所有节点都尽可能地长时间工作; 2) 在一定时期内存活的节点数量越多越好。本文就针对上述两个目标进行相关研究分析工作。

## 3. 基于剩余能量感知及 DSC 的 WSN

如图 1 所示 WSN 系统中的各节点的功耗主要来自数据采集、数据处理及数据传输三方面, 而后面两者又是功耗的主要来源。同时, 分簇网络结构决定了各节点在网络中除了处理传输自身数据外, 还可能中继其他节点数据。为此本文主要从保持极低的处理复杂度的前提下, 均衡各节点负载, 并降低总体传输数据两方面提高 WSN 工作性能。

### 3.1. 基于能量感知的簇头选择

如图 1 所示, 簇头节点需要汇集该簇所有节点的数据再传输给基站, 显然传输功耗远远高于普通节点, 为了提高整个网络的生命周期, 必须动态的选择簇首才能均衡各节点的负载, LEACH<sup>[3]</sup>即是最典型有效的分簇协议之一。LEACH 将 WSN 数据传输分为多个周期(“轮”), 每一个周期都包含初始工作阶段和稳定工作阶段。第一阶段主要工作是以概率  $p$  产生簇头: 每个节点  $S_i, i \in [1, N]$  自身产生一个随机数  $m_i, m_i \in (0, 1)$ , 定义一个阈值  $T(i)$ :

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * (r * \text{mod}(1/p))}, & i \in G \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $r$  为当前“轮”数,  $G$  表示前  $r$  轮中没有当过簇首的节点集合。如果  $m_i < T(i)$ , 则该节点  $S_i$  被选为簇头。在完成了簇头的选择后, 非簇头节点寻找与其最

近的簇头加入到该簇中，完成分簇，进入到该“轮”的稳定工作阶段。稳定工作阶段，各簇中节点按时分复用的形式将数据汇集到簇头，簇头最后将自身数据及本簇节点数据汇聚以后发送给基站。

LEACH 算法通过平衡所有节点成为簇头的机率来平衡节点负载，然而不同节点所处的位置不一样，直接导致传输数据消耗功率不一样，因此最终也会导致远离基站的节点更容易耗费能源。为此文献[4]提出了基于剩余能源和节点分布的自适应簇头选择算法，但却需要每一个节点实时地了解目前全网生存节点个数和各节点与基站的距离，增加了计算复杂度。在实际 WSN 网络中，随着节点能源的不断消耗，节点成为簇头的概率应该相应的降低，换言之剩余能源越低，其越不应该成为簇头。另一方面，随着某些节点的能源的耗尽，簇头的数目也应该相应的降低。为了满足上述要求，不需要了解全网所有节点的具体情况，本文对文献[4]的算法进行简化，按如下式计算阈值  $T(i)$ ：

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p}{1-p*(r*\text{mod}(1/p))} * \frac{E_r}{E_0}, & i \in G \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $E_r$  表示当前节点的剩余能量， $E_0$  表示所有节点的初始能量。

### 3.2. 基于分布式信源编码的压缩汇集

在上一节中，任意时刻簇头需要向基站传输当前簇所有的数据，其功耗远大于普通节点。因此在传输之前，需要对所有节点的数据进行低功耗压缩<sup>[1]</sup>，压缩方式主要分为节点内部压缩和节点间相关性挖掘两类。为了避免节点间通信带来的额外功率耗费，传统的压缩方法仅能基于节点内部压缩方案。设当前簇的包括簇头在内具有  $c$  个节点  $X_j, j \in [1, c]$ ，根据信息论<sup>[10]</sup>，当前簇总的理论码率  $R_{\text{intra}}$  可各节点的差分熵的和来计算：

$$R_{\text{intra}} = \sum_{j=1}^c h(X_j) = \sum_{j=1}^c \frac{1}{2} \log 2\pi e \sigma_j^2 \quad (3)$$

其中  $\sigma_j^2$  为第  $j$  个节点的方差。

由于成簇协议主要基于距离最近原则，而在一定范围内的传感器数据是具有很高的空间相关性的，如

果能对这些相关性进行有效的挖掘将更进一步有效降低簇头的传输功耗。分布式信源编码(DSC)具有通过“编码端独立编码-解码端联合解码”的方式实现和传统压缩方式相同压缩效率的目的。因此本文将 DSC 理论引入到各个簇中实现节点间相关性压缩，在各节点间无需进行通信的前提下就可以实现数据的空间相关性压缩。根据 DSC 理论，当前簇的总的理论码率为：

$$R_{\text{inter}} = h(X_1, X_2, \dots, X_c) = \frac{1}{2} \log(2\pi e)^c |K_c| < R_{\text{intra}} \quad (4)$$

其中  $|K_c|$  为当前簇中各节点的协方差矩阵的行列式，且

$$K_{cij} = \sigma^2 \exp(-cd_{ij}^2) \quad (5)$$

其中  $d_{ij}$  为节点  $X_i$  和  $X_j$  之间的距离， $c$  决定了空间相关性。

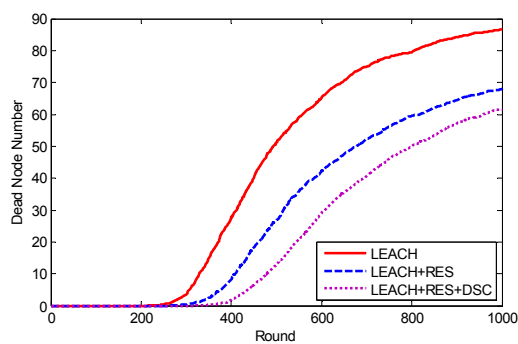
## 4. 仿真实验及分析

### 4.1. 实验环境设定

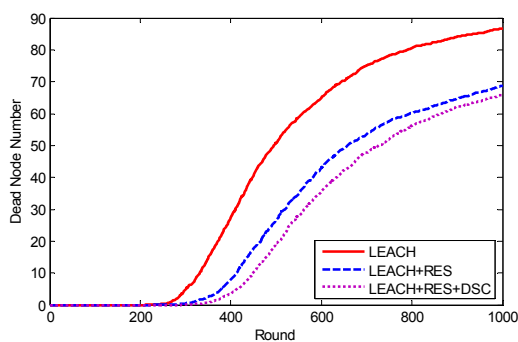
为了对本文设计的 WSN 模型进行仿真，设当前 WSN 具有 100 个节点，所有节点都随机分布在  $30 \times 30$  米的监测范围内，基站处于监测范围外坐标为(60, 60)的位置。设所有节点数据都服从  $N$  维联合高斯分布，且各节点数据均值为 0，方差为 1，相关性系数分别取四个数据  $c \in \{0.01, 0.02, 0.03, 0.05\}$  来测试不同相关性网络的性能。采用文献[4]的无线能耗模型，同时考虑各节点的发射能量  $E_{\text{rx}}$ 、接收能量  $E_{\text{rx}}$  及数据处理功耗  $E_{\text{DP}}$ ，总体能耗  $E = E_{\text{tx}} + E_{\text{rx}} + E_{\text{DP}}$ 。能耗模型中的各种参数如表 1 所示。

Table 1. Parameter setting  
表 1. 能源模型中参数设置

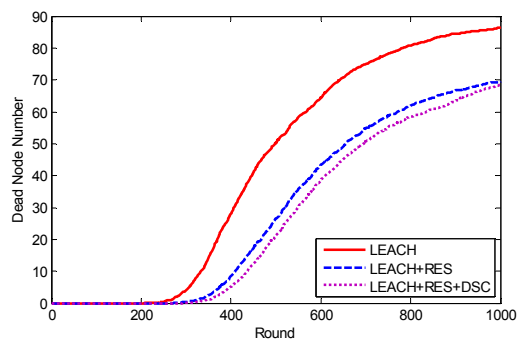
参数名称	实验取值
多径传输放大器损耗 $\varepsilon_{\text{amp}}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
自由空间传输放大器损耗 $\varepsilon_{\text{fs}}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
处理、发射/接收射频电路损耗 $E_{\text{dec}}$	50 nJ/bit
数据处理功耗 $E_{\text{DP}}$	5 nJ/bit/signal
初始能量 $E_0$	0.05 J
控制信息长度 CM	32 bits



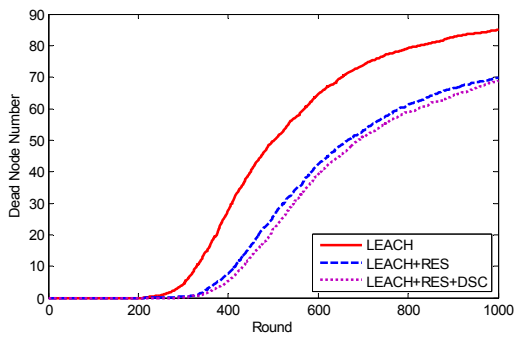
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 2. Number of dead nodes at different round for different nodes correlation: (a)  $c = 0.01$ ; (b)  $c = 0.02$ ; (c)  $c = 0.03$ ; (d)  $c = 0.04$   
 图 2. 不同相关性下系统死亡节点分布: (a)  $c = 0.01$ ; (b)  $c = 0.02$ ; (c)  $c = 0.03$ ; (d)  $c = 0.04$

Table 2. System resulting data of standard experiment

表 2. 标准试验系统结果数据

	$c = 0.01$	$c = 0.02$	$c = 0.03$	$c = 0.04$
LEACH	3	4	7	8
LEACH + RES	4	3	5	9
LEACH + RES + DSC	7	6	7	8

实验重复产生 100 个不同的随机分布的节点设置, 对每个节点设置进行 1000 “轮” 测试, 记录每一轮死亡节点的个数, 并记录第一个死亡节点的发生时刻的“轮”数。最后对不同节点设置的数据进行平均来获取最终结果。在仿真过程中, 分别采用以下三种模式: 1) LEACH + 仅节点内部数据压缩; 2) LEACH + 能量感知 + 节点内部数据压缩; 3) LEACH + 能量感知 + 基于 DSC 的节点间数据压缩。

### 4.2. 实验结果及分析

如图 2 所示为不同相关系数  $c$  情况下不同“轮”数对应的死亡节点个数分布曲线。表 2 给出了不同模式下第一个死亡节点出现的“轮”数。首先可以看到仅仅采用节点内部数据压缩的 LEACH 算法在同一时刻死亡节点最多, 其次随着能源感知算法的加入, 同一时刻死亡节点有了明显降低, 最后当 DSC 引入到测试网络以后, 同一时刻死亡节点更进一步降低。另外, 随着本文算法的加入, 第一个死亡节点出现的时间也随着延后。

因此, 图 1 和表 1 的结果都有效证明了两种算法对提高 WSN 生存周期的有效性。同时也可以看到, 随着网络节点间相关性的降低(提高  $c$  的值), DSC 算法所带来的增益也随之降低, 其主要原因是相关性越小, 压缩效率越低, 需要传输的数据就随之增加。因此, 本文结论更适用于传感器相对分布密集, 节点间相关性较高的场合。

### 5. 结论

本文针对低功耗长生命周期 WSN, 对已有协议及方案进行了深入分析, 并从网络结构分簇协议及数据压缩汇集两个方面提出了优化方案。仿真结果表明, 本文算法在尽量保证网络数据传输简化的前提下有效均衡了网络负载, 降低了个体节点的汇集传输负载, 有效提高了网络运行周期。在进行数据汇集压缩

时, 本文仅仅对各分簇作为一个整体来考虑, 在未来的工作中将进一步研究簇内部相关问题(如码率分配问题)。

## 参考文献 (References)

- [1] 林蔚. 无线传感器网络的数据压缩算法综述[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(9): 2043-2048.
- [2] 李莉, 温向明. 无线传感器网络路由协议的研究与展望[J]. 中国电子科学院学报, 2006, 1(1): 17-21.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2001, 1(4): 660-670.
- [4] Y. Hu, X. R. Shen and Z. H. Kang. Energy-efficient cluster head selection in clustering routing for wireless sensor networks. 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Beijing, 24-26 September 2009: 1-4.
- [5] 韩万强, 刘云. WSN 中基于分簇的改进路由协议[J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 105-107.
- [6] Y. Hu, W. Li and Z. H. Kang. Study on energy efficient hierarchical routing protocols of wireless sensor networks. WASE International Conference of Information Engineering, Taiyuan, 10-11 July 2009: 325-328.
- [7] M. C. M. Thein, T. Thein. An energy efficient cluster-head selection for wireless sensor networks. International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, Liverpool, 27-29 January 2010: 287-291.
- [8] J. J. Zhao, H. Li and X. Zhao. The comparative research on the location technology of wireless sensor networks. *Communication and Network*, 2009, 1(2): 114-120.
- [9] D. Slepian, J. Wolf. Noiseless coding of correlated information sources. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1973, 19(4): 471-480.
- [10] T. M. Cover. *Elements of information theory*. Hoboken: John Wiley & Sons, INC.