

# 基于最优能量福利函数优化的传感网路由协议<sup>①</sup>

王东东, 崔宝同

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

**摘要:** 为了有效的提高无线传感器网络能量消耗的均衡性, 提出了一种基于 Leach 的改进型分簇路由协议 Leach-OEW. 该路由协议参照最优社会福利函数的概念提出了最优能量福利函数, 并将节点最优能量福利函数的预测值应用到簇首的二次选择过程, 以此来提高整个网络的能量利用效率以及能量消耗的均衡性. 仿真结果表明, 与 Leach 以及 PARPEW 协议相比, Leach-OEW 能够更好的均衡网络的能量消耗, 延长网络的生命周期.

**关键词:** 无线传感器网络; 分簇路由协议; 最优能量福利函数; Leach 协议

## Sensor Network Clustering Routing Based on Optimized Energy Welfare Function

WANG Dong-Dong, CUI Bao-Tong

(School of IoT Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In order to improve the energy balance of wireless sensors network, we present a Leach-based routing protocol using Optimized Energy Welfare (OEW) called Leach-OEW. The concept of OEW is raised based on the optimized social welfare. The OEW is applied to the election of the cluster heads in the Leach routing protocol of wireless sensors networks to achieve energy balance as well as energy efficiency. The simulation results show that the improved Leach protocol balances the energy consumption of sensor nodes, prolongs the life time of network compared with the Leach and PARPEW protocol.

**Key words:** wireless sensors networks; clustering routing; optimized energy welfare function; Leach protocol

无线传感器网络中, 能量的消耗主要是节点与节点之间以及节点与基站间的通信消耗, 因此高效的路由协议对于整个网络的性能有着至关重要的影响. 分簇路由协议一类高效的无线传感器网络路由协议, 相比较于平面路由协议能够更好的均衡网络的能量消耗, 提高能量的利用效率, 延长网络的生命周期.

近年来越来越多的学者专注于无线传感器网络分簇路由协议的研究, 先后提出了许多能量高效的分簇路由协议: 文献[1]提出的 Leach<sup>[1]</sup>是一种典型的低功耗分簇路由协议, 通过簇首节点的轮换机制保证节点的能量使用效率; PEGASIS<sup>[2]</sup>协议是一种能量高效的协议, 协议中节点之间为链式连接, 并采用单簇方式, 避免了 Leach 协议簇首频繁更换的通信能耗; Leach-C<sup>[3]</sup>是 Leach 协议的改进, 通过在簇首选择过程中对候选簇首的能量加以限制, 延长了网络的生命周

期; SEP<sup>[4]</sup>协议通过引入高级节点, 充分利用节点的异构性, 均衡了网络的能量消耗; PSO-C<sup>[5]</sup>运用粒子群算法(PSO)<sup>[6]</sup>优化 Leach 协议的簇首选择过程, 提高网络性能.

在所提出的路由协议中集中式的路由协议占据较大的比重, 无线传感器网络中节点的数目庞大, 使得这类协议在实际中的应用受到限制. 因此, 本文提出了一种基于 Leach 的改进型分布式分簇路由协议, 各节点依据有限的邻居节点的信息进行分簇与通信, 增强协议在实际应用中的可行性. 此外, 依据最优社会福利函数<sup>[7]</sup>引入了最优能量福利函数的概念, 对各节点能量消耗进行预测, 据此进行簇首的选择, 均衡网络的能量消耗.

## 1 系统模型

本文采用如下的系统模型<sup>[7]</sup>, 针对网络模型做出

① 收稿时间:2014-03-31;收到修改稿时间:2014-04-25

如下假设:

① 网络中所有节点具有相同的初始能量及感知半径 (Sink 节点除外), 每个节点都有固定的编号.

② 节点的通讯半径可调, 且能够根据通信距离调整能量消耗.

③ 节点固定, 且具体位置已知.

④ Sink 节点只有一个, 位置固定. 网络中的节点与 Sink 节点的距离信息能够交互传递.

能量模型为第一信道模型<sup>[7]</sup>, 该模型中信息通信以及数据融合是节点消耗能量的主要组成部分, 因此节点能量消耗主要包括三部分: 数据发送消耗、数据接收消耗以及数据融合消耗.

1) 数据发送消耗:

$$E_{TX}(l, d_{ij}) = \epsilon_{ix} \cdot l + \epsilon_{mp} \cdot l \cdot d_{ij}^2 \quad (1)$$

上式是节点  $i$  向节点  $j$  发送  $l$  比特数据的能量消耗, 其中  $\epsilon_{ix}$  是发送一个比特数据的能量消耗,  $\epsilon_{mp}$  是第一信道模型的单位数据放大功率,  $d_{ij}$  表示节点  $i$  与节点  $j$  之间的距离.

2) 数据接收消耗:

$$E_{RX}(\mu) = \epsilon_{rx} \cdot l \quad (2)$$

上式是节点接收  $l$  比特数据的能量消耗, 其中  $\epsilon_{rx}$  是接收一个比特数据的能量消耗.

数据融合能量消耗:

$$E_{DA}(n, l) = \epsilon_{da} \cdot (n \cdot l) \quad (3)$$

上式表示融合  $n$  个  $l$  比特的数据包所消耗的能量, 其中  $\epsilon_{da}$  为融合一个比特的数据消耗的能量.

## 2 基于最优能量福利函数的分簇路由协议

### 2.1 最优能量福利函数

在无线传感器网络的分簇路由协议中, 为了延长网络的生命周期, 除了考虑每个节点的能量消耗外, 还要考虑整个网络能量消耗的均衡性. 为此, 文献[7]在分簇路由协议的分簇过程中引入了社会福利函数, 对簇首的选择过程进行优化. 但文中采用的是阿肯森社会福利函数<sup>[8]</sup>, 并没有考虑低收入群体的福利状况与收入分配关系, 这在无线传感器网络中就可能使能量低的节点过早的死亡.

最优社会福利函数<sup>[9]</sup>是在原有多种社会福利函数的基础上, 综合考虑平均社会收入以及社会收入的分布状况, 而且将弱势群体的福利水平作为一个内生变量, 是一种比较全面的福利函数. 最优社会福利函数

的表达式如下:

$$W(y_m, \mu, G) = R(y_m) + U'(y_m)(1-G)\mu \quad (4)$$

$$R(y_m) = U(y_m) - U'(y_m)y_m \quad (5)$$

其中,  $y_m$  为社会最低收入;  $\mu$  表示社会平均收入;  $G$  是基尼系数, 表示收入相对不平等程度;  $R$  为最低收入者消费者剩余;  $U$  为社会收入的效用函数.

本文选用单变量的效用函数, 将节点的能量等价于效用函数中的个体收入. 根据文献[7], 效用函数  $U$  需要满足如下条件:

$$U'(y) > 0, U''(y) < 0, \lim_{y \rightarrow \infty} U'(y) = 0 \quad (6)$$

其中,  $y$  是个体收入. 无线传感器网络中节点的能量是决定网络各项性能的关键. 因此, 本文将效用函数设定为常绝对风险厌恶<sup>[9]</sup>, 选取效用函数的最优分布为指数分布, 并将节点剩余能量作为评价指标, 定义节点效用函数如下:

$$y_E = \frac{E_i - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (7)$$

$$U_i^t(y_E) = 1 - e^{-\alpha y_E} \quad (8)$$

其中,  $y_E$  为节点的个体收入, 是经无量纲化处理的评价指标;  $E_i$  为分簇路由协议  $t$  轮节点  $i$  的剩余能量,  $E_{\max}$ 、 $E_{\min}$  分别为节点  $i$  所在簇的最大及最小节点剩余能量.

在定义节点效用函数后, 在能量福利  $EW$ <sup>[10]</sup>(Energy-Welfare)的基础上我们给出了最优能量福利  $OEW$  (Optimized Energy-Welfare)的概念, 最优能量福利函数定义如下:

$$OEW(y_{Em}, \mu_E, G) = R(y_{Em}) + U'(y_{Em})(1-G)\mu_E \quad (9)$$

$$R(y_{Em}) = U(y_{Em}) - U'(y_{Em})y_{Em} \quad (10)$$

其中,  $y_{Em}$  为簇中节点个体收入的最小值,  $\mu_E$  为簇中所有节点个体收入的平均值.  $G$  为基尼系数, 依据文献[11]可知, 在效用函数的最优分布为指数分布时, 基尼系数近似为 0.5.

### 2.2 基于 OEW 优化的分簇路由协议

Leach-OEW 对 Leach 协议簇首的选择进行了优化, 优化过程主要包括簇首的二次选择以及引入最优能量福利函数这一新的评价指标. 改进的分簇路由协议沿用了 Leach 协议自组、自适应、随机选择的分簇机制, 在协议中同样引入了“轮”的概念, 每轮通信包括簇的形成与稳定通信两个阶段. 由于采用簇首的二次选择策略, 对簇首的选择过程进行了优化. 最优能量福利

函数同时反应了簇内节点剩余能量以及对低能量节点的保护, 均衡了整个网络的能量消耗.

对一个  $N$  有个节点的无线传感器网络, 假设确定有  $K$  个簇首, 且网络中所有节点的位置已知, 改进的分簇路由算法如下:

1) 预分簇: 网络中各节点产生[0,1]之间的随机数, 若该数小于阈值  $p$ , 该节点为临时簇首节点(TCH), 并向其他节点发送控制数据包, 否则为普通节点, 并向距离最近的 TCH 发送控制数据包(剩余能量、坐标).

2) 簇的形成: 依据预分簇的结果, TCH 接收簇内成员的剩余能量、坐标等信息. 利用公式(7)~(10)计算簇内各节点作为簇首时通信结束后的最优能量福利函数的预测值, 选取簇内最优能量福利函数值最大的节点作为簇内真实簇首(RCH), 数学描述如下:

$$\arg \max_{i \in C_k^t} OEW_{C_k^t} \quad (11)$$

式中的  $OEW$  是  $t$  轮簇  $C_k^t$  中如果节点  $i$  作为簇内簇首时, 各节点完成数据通信后的最优能量福利函数的预测值. RCH 确定后, TCH 向簇内其他成员再次发送控制数据包, 将 RCH 的 ID 等信息发送至各节点, 各节点将自身信息与数据包信息比对确定自己是否为 RCH.

3) 稳定通信阶段: 簇内非簇首节点感知信息, 并发送至 RCH. 接收到的信息通过数据融合等技术, 减小 RCH 发送数据包的大小, 最后实现 RCH 与基站的通信.

至此, 无线传感器网络的一轮通信结束, 如此反复直至网络的生命周期结束.

### 3 改进路由协议的仿真及分析

#### 3.1 仿真参数设置

本文基于 Matlab 平台对 Leach、PARPEW 以及改进的分簇路由协议 Leach-OEW 进行仿真对比. 仿真参数如表 1 所示, 网络节点分布如图 1 所示.

表 1 仿真参数设置

参数名称	参数值
仿真区域范围	100m × 100m
基站位置	(50,150)
节点数 $N$	100
节点初始能量 $E_0$	0.5J
数据包长度	5000bit
控制数据包长度	100bit

$p$	0.05
$\epsilon_{mp}$	100 pJ / bit / m <sup>2</sup>
$\epsilon_{tx}$	50nJ / bit
$\epsilon_{rx}$	50nJ / bit
$\epsilon_{da}$	5nJ / bit / signal

#### 3.2 仿真结果分析

图 2 为 Leach、PARPEW 以及 Leach-OEW 的网络生命周期的比较, 从图中可以看出, 改进后的分簇路由协议相比于 Leach 协议生命周期延长了 200 轮, 相比较于 PARPEW 协议生命周期延长了 100 轮. 图 3 为网络剩余总能量的比较, 比较可知 Leach-OEW 的能量要高于其他两种协议, 且曲线最接近于直线, 说明能量消耗较为均衡.

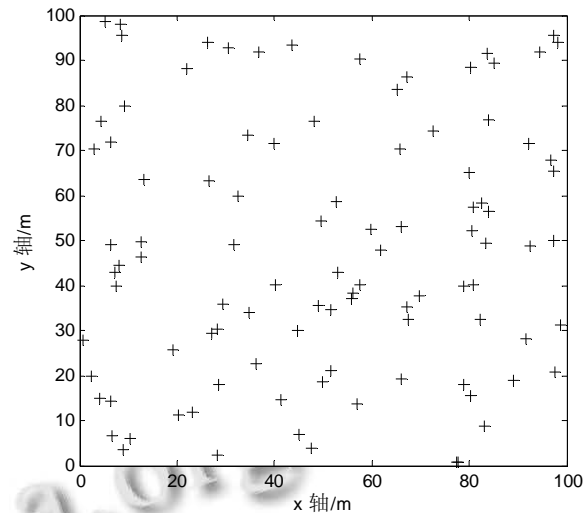


图 1 节点分布图

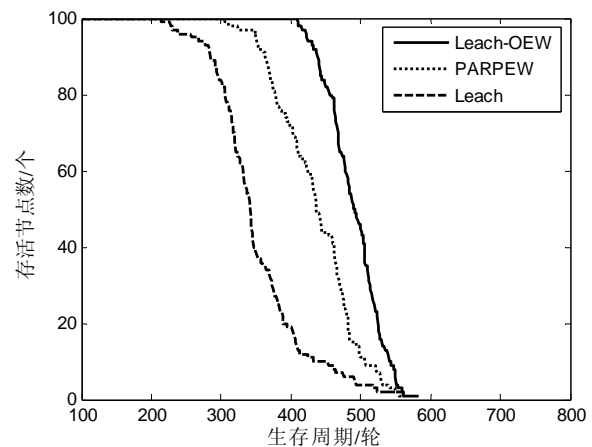


图 2 生存周期比较

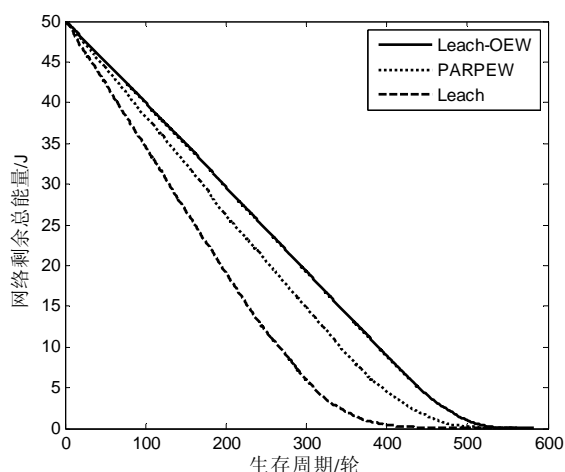


图3 网络剩余总能量比较

通过比较可知,运用最优能量福利函数的预测值对簇首选择过程进行优化,能够更好的均衡整个网络的能量消耗,避免了 Leach 协议中低能量簇首节点因能量消耗过大而提前死亡,延长了无线传感器网络的生命周期。

#### 4 结语

本文提出了一种改进的无线传感器网络分簇路由协议,在簇首选择过程中引入最优能量福利函数,将簇内各节点的剩余能量的分布状况作为簇首选择的依据,改善了 Leach 协议的簇首选择过程。通过仿真验证以及对结果的分析,充分说明改进后的分簇路由协议,提高了整个网络能量消耗的均衡性,达到了延长网络生命周期的目的。

#### 参考文献

- 1 Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 2000.

- 2 Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam KM. Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2002, 13(9): 924-935.
- 3 Heinzelman WR, Chandrakasan AP, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- 4 Yarvis M, Kushalnagar N, Singh H, Rangarajan A, Liu Y, Singh S. Exploiting heterogeneity in sensor networks. Proc. of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE. 2005, 2. 878-890.
- 5 Latiff NA, Tsimenidis C, Sharif B. Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007: 1-5.
- 6 Kennedy J. Particle swarm optimization. Encyclopedia of Machine Learning, 2010. 760-766.
- 7 Yang PT, Lee S. A distributed reclustering hierarchy routing protocol using social welfare in wireless sensor networks. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/681026>.
- 8 Atkinson AB. On the measurement of inequality. Journal of Economic Theory, 1970, 2: 244-263.
- 9 赵志君.收入分配与社会福利函数.数量经济技术经济研究, 2011,28(9):61-74.
- 10 Ok C, Mitra P, Lee S, et al. Maximum energy welfare routing in wireless sensor networks. Ad Hoc and Sensor Networks, Wireless Networks, Next Generation Internet. Springer Berlin Heidelberg, 2007. 203-214.
- 11 欧阳葵.理论基尼系数及其社会福利含义的讨论.统计研究,2011,28(5):52-57.