

基于云模型的 WSN 能量消耗平衡研究

李文泽

(河南广播电视大学, 河南 郑州 450008)

摘 要: 为了有效解决无线传感器网络中节点能量消耗平衡的问题, 基于云模型提出了一种新的刻画算法 ECBC (Energy Consumption Balance based on Cloud theory). 该算法首先结合节点剩余能量和数据有效传输距离定义了评价指标, 并且利用云模型对该评价指标进行求解. 同时, 利用 OPENT 进行仿真实验, 深入分析了影响该算法的关键因素, 并且对比分析了 ECBC 与其它算法之间的性能状态, 结果表明该算法具有较好的适应性.

关键词: 无线传感器网络; 能量消耗; 有效传输距离; 评价指标; 云模型

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)02-0090-04

Research on the Energy Consumption Balance in WSN Based on Cloud Theory

LI Wen-ze

(Henan Radio & Television University, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: In order to mitigate the energy consumption balance problem in wireless network transmission, a novel depicted algorithm ECBC(Energy Consumption Balance based on Cloud theory) is proposed based on cloud theory. In this algorithm, the evaluation index is defined by node remainder energy and data effective transmission distance at first, which is calculated with cloud theory. Then, a simulation was conducted to study the key factor of this algorithm with OPENT. The result shows that, compared to other algorithm, it has good suitability.

Key words: WSN; energy consumption; effective transmission distance; evaluation Index; cloud theory

1 引言

随着无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)的广泛应用, 节点能量问题成为其发展的瓶颈, 如何有效地解决能量消耗平衡问题并延长网络生命周期成为目前研究的重点. 对此, 国内外学者做了大量工作. 文献[1]基于节点非均匀分布的策略建立一种次优的能耗效率, 以避免能量空洞现象, 但是这种策略成本较高. 文献[2]通过对节点分布离散度及曲率变化的研究, 建立了一种 N-阶近邻理论的分布式聚簇路由协议, 以此确定最优簇数量, 并延长网络生存周期. 文献[3]通过讨论 WSN 分簇的融合方式, 深入研究了簇内融合误差因素, 并建立了簇内测量修正的数据融合方法. 文献[4]中对比研究簇

首节点与簇内成员节点的能量消耗状况, 但是提出的成簇算法没有充分考虑成为簇首所需的剩余能量. Younis O 和 Fahmy S^[5]通过提出主、从参数来建立 HEED 协议, 并将能量消耗平均分配到均摊到每个节点, 以此延长网络生命周期. 文献[6]通过深入分析自由空间和瑞利衰落环境下的节点能量消耗情况, 采取为每个节点储存不同初始能量的策略, 建立了一种基于能量非均匀分布的能量空洞避免方法. 同时, 一些人工智能方法也广泛应用于 WSN 的能量消耗中^[7].

为了有效解决 WSN 节点能量消耗平衡, 本文在对比研究 HEED 算法性能的基础上, 提出一种新的算法 ECBC(Energy Consumption Balance based on Cloud theory), 以此延长网络生存周期. 该算法

收稿日期: 2013-03-16; 修回日期: 2013-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1204613)

通过利用云模型^[8]来对定义的评价指标进行求解,以此获得全局最优解。

2 能量消耗评价指标

假设如图1所示的WSN拓扑结构中存在多个簇,其中内部矩形框代表各个簇范围大小,白色圆圈代表簇成员节点,黑色圆圈代表簇首节点。由于受到节点能量的约束,簇首节点一般由簇内各节点轮流担任,以此平衡节点的能量消耗,并延长网络生存周期。簇内成员将数据发送给簇首节点,然后由簇首节点传送给基站。簇内传输一般采用直接通信,而簇间传输时簇首节点根据当前通信状况选择最佳路径进行路由,以达到能耗最低和效率最高的目的。目前,评价节点能量消耗是否平衡的主要指标是节点剩余能量和数据有效传输距离。因此,如何有效地预测节点剩余能量以及数据传输距离,成为延长网络生存周期的重要方法。

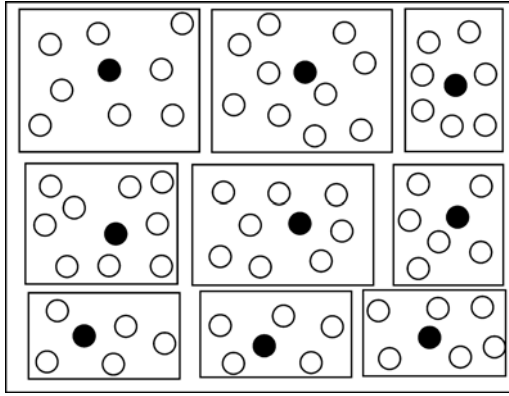


图1 网络拓扑结构图

假设节点发送单位bit数据的能量消耗为 K ,那么将 n bit流量传输到距离为 d 处的能量消耗 E_c 可表示为

$$E_c = n(\lambda d^2 + K) \quad (1)$$

式中, λ 为单位信道上传输单位比特流量的能量消耗。令节点的初始能量为 E_0 ,则节点的剩余能量 E 可描述为

$$E = E_0 - E_c \quad (2)$$

同时假设WSN中存在 m 种转发能力的节点,其对应的数据接收概率为 q_k ,第 k 个节点的有效转发距离为 l_k ,目前普遍采用式(3)来定义当前节点的有效传输距离 D :

$$D = l_k \prod_{k=1}^N (1 - q_k) \quad (3)$$

式中, N 表示WSN中的节点总数。

那么,为了有效刻画当前WSN节点的能量消

耗平衡状态,这里结合式(2)和式(3)给出如下评价指标 Ω :

$$\Omega = \max(aD + b \frac{1}{E}) \quad (4)$$

式中, a 和 b 分别为有效传输距离和节点剩余能量的权重系数。

以往解决此类最优问题,一般采用线性规划或启发式算法,但常常由于约束条件过于严厉而得不到满意解。因此,本文提出利用云模型来解决上述最优问题。

3 基于云模型的最优求解算法

云模型是一种基于定量和定性间转换的不确定性模型,它主要用来描述模糊性和随机性。它采用期望值 Ex 、熵 En 和超熵 He 来表示其基本数字特征,并将模糊性和随机性集成在一起,使得有可能从定性信息中获得定量数据,也有可能把精确数值有效转换为恰当的定性语言。

针对上述评价指标 Ω ,这里基于云模型建立衡量节点能量是否消耗平衡的描述算法ECBC。假定给定的剩余能量 E 和有效传输距离 D ,其WSN中的总节点数为 N 。那么评价指标 Ω 可以采用如下步骤来描述:

Step 1 对剩余能量 E 的属性 i 定义域中的每一个可能取值 x_1 ,计算含有该属性值的节点个数 y_1 ,获得其分布函数 $g_i(x_1)$ 。

$$g_i(x_1) = \sum_{i=1}^N (v_i \eta_i(x_1) + z_i) \quad (5)$$

$$|g_i(x_1) - \sum_{i=1}^N (v_i \eta_i(x_1) + z_i)| < \epsilon \quad (6)$$

式中, $\eta_i(x_1)$ 为第 i 个节点的数学期望, ϵ 为一随机数, $z_i = \min(|g_i(x_1)|, |g_{i-1}(x_1)|)$, $v_i = |g_i(x_1) - g_{i-1}(x_1)|$ ($g_0(x_1) = 0$)。

Step 2 同理,针对有效传输距离 D 的属性 i 的每一个可能取值 x_2 ,计算含有该属性值的节点个数 y_2 以及分布函数 $g_i(x_2)$ 。

Step 3 根据数据分布函数 $g_i(x_1)$ 和 $g_i(x_2)$ 的波峰所在位置,将其属性值定义为云期望 Ex_1 和 Ex_2 ,如果满足 $g_i(x_1) > g_{i-1}(x_1)$,则 $Ex_1 = x_1$;同时如果 $g_i(x_2) > g_{i-1}(x_2)$,则 $Ex_2 = x_2$ 。

Step 4 同时,基于 $g_i(x_1)$ 和 $g_i(x_2)$ 来计算以 Ex_1 和 Ex_2 为期望的云模型的熵,并计算其数据分布函数 $g(x_1)$ 和 $g(x_2)$ 。

Step 5 从 $g(x_1)$ 和 $g(x_2)$ 中减去已知云模型的

数据分布 $g_i(x_1)$ 和 $g_i(x_2)$, 获得新的数据分布函数 $G_i(x_1)$ 和 $G_i(x_2)$, 并重复执行 Step 2 和 Step 3, 直至所有节点.

Step 6 根据已知的 $G_i(x_1)$ 和 $G_i(x_2)$ 来计算误差分布函数 $G'_i(x_1)$ 和 $G'_i(x_2)$, 并得出基于云模型的特征量熵 En_1 、 En_2 和超熵 He_1 、 He_2 :

$$En_1 = \frac{G'_i(x_1) - G_{i-1}(x_1)}{3} \quad (7)$$

$$En_2 = \frac{G'_i(x_2) - G_{i-1}(x_2)}{3} \quad (8)$$

$$He_1 = \frac{1}{10\max(G'_i(x_1), G_{i-1}(x_1))} \quad (9)$$

$$He_2 = \frac{1}{10\max(G'_i(x_2), G_{i-1}(x_2))} \quad (10)$$

Step 7 获得剩余能量 E 和有效传输距离 D 的第 i 个元素的云模型曲线:

$$f(x_1) = \exp\left(-\frac{(x_1 - Ex_1)^2}{En_1^2}\right) \quad (11)$$

$$f(x_2) = \exp\left(-\frac{(x_2 - Ex_2)^2}{En_2^2}\right) \quad (12)$$

Step 8 跳转到 Step 1, 重复计算 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$, 直到 $\left|\frac{f(x_1) - f(x_2)}{f(x_2)}\right| < 10\%$ 时为止, 即为评价指标 Ω 的最优解.

4 数学仿真

为了验证上述 ECBC 算法的有效性, 这里利用 OPENT 进行仿真实验. 首先结合图 1 建立 WSN 拓扑结构, 并设置相关网络参数: 各节点缓冲区容量为 64 packets, 传输信道容量为 5 Mb/s, 时延 10 ms, 数据大小为 128 Byte. 同时, 为了显示出该算法性能状况, 本文将经典算法 HEED 进行分析, 在图 2 中给出了 ECBC 算法和 HEED 算法的网络生存周期与失效节点数目之间的关系. 实验假设当 WSN 中有 40% 节点失效时其网络生存周期就结束. 从图 2 可以看出, 本文提出的 ECBC 算法由于综合考虑了节点能量消耗平衡的因素, 其生存周期达到了 297 轮, 而 HEED 算法则为 248 轮. 这说明评价指标 Ω 对于延长网络生存周期起到了较好的作用.

同时, 这里重点研究影响 ECBC 算法的关键因素. 将评价指标 Ω 中有效传输距离的权重系数 a 和节点剩余能量的权重系数 b 作为变化参量, 在图 3 中给出了不同权重系数 a 下网络生存周期的变化情况. 在实验开始阶段, 由于节点剩余能量较大, 此时更多的考虑有效传输距离有利于提高网络传输效

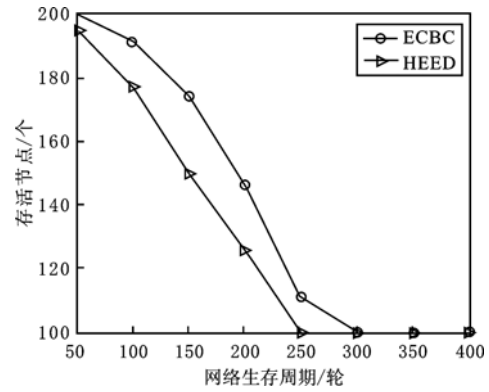


图 2 ECBC 算法和 HEED 算法的网络生存周期对比

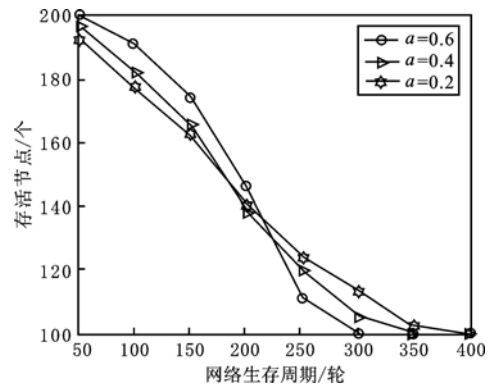


图 3 不同权重系数下网络生存周期对比

率, 从而使得生存周期延长. 而在实验后期, 随着节点能量消耗的增加, 此时很多节点存在失效的可能, 如果更多的考虑有效传输距离而减少对剩余能量的重视, 势必会加快引起节点失效, 从而导致网络生存周期缩短. 如图 3 中 $a=0.2$ 对应曲线在实验开始阶段的网络生存周期低于 $a=0.6$ 对应曲线, 而在实验后期则高于 $a=0.6$ 对应曲线.

图 4 中给出了不同数据接收概率 q_k 下网络生存周期的变化情况. 从图 4 可以看出, 在实验开始阶段, q_k 越大对应的网络生存周期越大; 而在实验后期, 情况发生突变, q_k 越大对应的网络生存周期越小. 这是因为实验开始阶段节点剩余能量较大, 增大

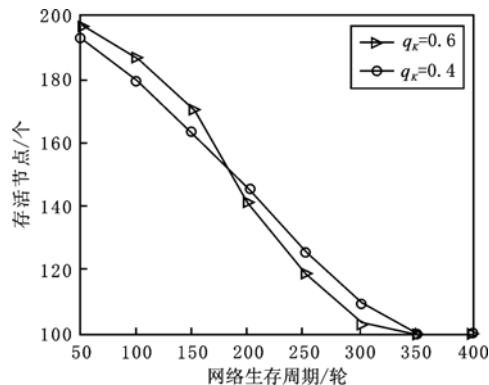


图 4 不同数据接收概率下网络生存周期对比

节点接收数据概率能够更加有效的提高网络转发效率,而实验后期随着节点能量的消耗,此时接收概率越大将导致节点更快失效,从而影响网络生存周期。

5 结束语

本文结合节点剩余能量和数据有效传输距离建立了评价指标,并且利用云模型对上述评价指标进行刻画,提出了一种新的算法 ECBC,以此获得全局最优解。仿真实验对比研究了该算法与经典算法 HEED 之间的性能差异,结果表明 ECBC 算法更具有适应性。由于节点能量一直是 WSN 关注的重点和热点,而且 WSN 中能量空洞的出现阻碍了数据的传输,造成网络失效,所以在以后的研究过程中,可以考虑采用节点均匀分布以及梯度模型来解决能量消耗平衡的问题。

参考文献:

- [1] 吴小兵,陈贵海. 无线传感器网络中节点非均匀分布的能量空洞问题[J]. 计算机学报, 2008, 31(2): 253-261.
- [2] 洪榛,俞立,张贵军. 无线传感器网络自适应分布式聚簇路由协议[J]. 自动化学报, 2011, 37(10): 1197-1205.
- [3] Martalo M, Ferrari G. A simple information-theoretic analysis of clustered sensor networks with decentralized detection [J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(6): 560-562.
- [4] Luo X, Dong M, Huang Y. On distributed fault tolerant detection in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Computers, 2006, 55(1): 58-70.
- [5] Younis O, Fahmy S. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366-379.
- [6] 刘韬. 基于梯度的无线传感器网络能耗分析及能量空洞避免机制 [J]. 自动化学报, 2012, 38(8): 1353-1361.
- [7] 沈中,常义林,崔灿,等. 一种可自维护无线网络拓扑最小功耗特性的分布式拓扑控制算法 [J]. 计算机学报, 2007, 30(4): 569-579.
- [8] 宋杰,李甜甜,闫振兴,等. 一种云计算环境下的能效模型和度量方法 [J]. 软件学报, 2012, 23(2): 200-214.
- [9] 李文泽,等. 基于云模型的 WSN 能量消耗平衡研究 [J]. 计算机学报, 2013, 36(10): 1985-1995.
- [10] Kosut O, Jia L, Thomas R J, et al. On malicious data attacks on power system state estimation [C] // Proceedings of the 45th International Universities Power Engineering Conference; Cardiff, Wales; IEEE, 2010: 1-6.
- [11] Kosut O, Jia L, Thomas R J, et al. Malicious data attacks on smart grid state estimation: attack strategies and countermeasures [C] // Proceedings of the First IEEE International Conference on Smart Grid Communications. Gaithersburg, MD; IEEE, 2010: 220-225.
- [12] Xie L, Mo Y, Sinopoli B. False data injection attacks in electricity markets [C] // Proceedings of the 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications. Gaithersburg, MD; IEEE, 2010: 226-231.
- [13] Jia L, Thomas R J, Tong L. Malicious data attack on real-time electricity market [C] // Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Prague; IEEE: 5952-5955.
- [14] Kosut O, Jia L, Thomas R J, et al. Malicious data attacks on the smart grid [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2011, 2(4): 645-658.
- [15] Monticelli A. State estimation in electric power systems: a generalized approach [M]. Berlin: Springer, 1999.
- [16] Abur A, Exposito A G. Power system state estimation: theory and implementation [M]. New York: CRC Press, 2004.
- [17] Wu FF, Monticelli A. Network observability: theory [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1985(5): 1042-1048.

作者简介:

李文泽 男, (1979—), 硕士, 讲师. 研究方向为网络优化。

作者简介:

李 勒 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向智能电网安全、信息物理系统安全。

洪爽俊 男, (1990—), 硕士研究生. 研究方向网络安全。

张 驰 男, (1977—), 副教授, 博士生导师. 研究方向为赛博空间中的安全。

(上接第 89 页)