

基于无线传感器网络的海上风电机组状态监测传感器部署策略研究

傅质馨, 赵 敏, 袁 越, 宗炫君, 张程飞

(1.河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100;

2.河海大学可再生能源发电技术教育部工程研究中心, 江苏 南京 210098)

摘 要: 海上风电机组因海上环境恶劣、可进入性差等因素, 极易发生故障, 通过实施状态监测可及时发现风电机组的故障隐患, 以免造成较大的损失。本文利用无线传感器网络技术构建海上风电机组状态监测系统。对无线传感器网络的传感器节点(简称节点)进行合理部署是实现监测系统高效运行的关键。本文提出均匀部署、能量均衡部署和基于覆盖度的能量均衡部署三种节点部署方案, 并对所提出的三种方案进行了理论分析和实验仿真比较。结果表明, 这三种部署方案均可实现风电机组的无线监测系统, 其中能量均衡部署和基于覆盖度的能量均衡部署两种方案能够在对风电机组状态信息进行可靠传输的基础上有效延长监测系统的使用寿命, 更加适用于海上风电机组的状态监测。

关键词: 海上风电机组; 状态监测; 无线传感器网络; 能量均衡; 使用寿命

0 引言

海上风电场可进入性差, 运行环境恶劣, 人为的定期维护和事后维修很难保证风电机组运行状态的可靠性^[1]。目前, 海上风电机组状态信息的获取大多采用有线通信方式, 存在构建基础通信设施成本高、布线困难、故障率高、维护不便等问题, 急需提出简单易行、可靠高效的监测方法。随着传感器、无线通信等技术的发展, 无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)因其具有功耗小、成本低、自组网和节点微型化等优点, 在监测领域得到了广泛的应用^[2], 这为海上风电机组状态监测系统的构建提供了新的思路。

构建海上风电机组状态监测系统的首要工作是通过合理的节点部署方案来实现风电机组状态信息的获取, 同时保证状态信息的准确性、实时性和全面性。基于 WSN 的海上风电机组状态监测系统与传统的有线监测系统不同, 节点采集到的状态信息将以无线通信方式传输, 因此为了保证状态信息传输的可靠性, 节点部署还必须保证监测系统网络的

连通性。除此之外, 考虑到海上环境恶劣, 节点更换不便, 因此在节点部署时还应使得节点能量能够均衡、充分地利用, 以延长监测系统使用寿命。目前, 利用 WSN 技术来实现风电机组状态监测的研究较少, 文献[3-4]从理论上提出利用 WSN 实现风电机组的状态监测, 给出节点的硬件设计方案, 以及整个监测系统的软硬件设计方案, 但未涉及具体的节点部署方案。文献[5]在风电机组内部相应位置部署振动节点来采集风电机组的振动状态信息, 并利用增加中继节点的方法来解决监测系统网络的覆盖连通性问题, 但所提出的方案仅能从振动特征来判断风电机组的工作状态, 不能反映风电机组多方面的状态信息, 同时文中没有考虑节点的能量均衡问题。针对 WSN 节点的部署问题, 文献[6]提出了一种基于网格扫描的节点部署方案, 该方案简单易行, 但需要先对所监测的目标构建网格模型, 对于风电机组而言构建网格模型难度大、实施困难。文献[7]提出一种 WSN 不等级级环模型的节点部署方案, 该方案简单可行, 只需要测量被监测部件的物理参数即可构建网络模型, 但该方案仅在理论上提出如何部署节点, 并未结合具体应用领域。

基于上述分析, 本文首先建立了海上风电机组状态监测系统的模型, 包括监测系统网络模型和能

江苏省自然科学基金青年项目(BK2012409);

河海大学中央高校基本科研业务费项目(2011B09014)。

量模型。在此基础上,提出了三种海上风电机组状态监测系统的节点部署方案,并通过实验仿真对三种方案进行了比较,选出了最优方案。

1 海上风电机组状态监测系统模型

1.1 监测系统网络模型

在海上风电机组状态监测系统中,所有节点构成监测系统网络,即 WSN。以图 1 所示的风电机组传动系统的俯视图来说明监测系统节点的部署方法。节点部署在以传动轴为对称线的一个平面内,并将这个平面看成半径为 R 的圆形区域 S ,且具有如下假设:

- 1) 基站部署在平面 S 的中心位置,且假设基站节点不会失效;
- 2) 所有节点均固定部署在上述平面 S 内;
- 3) 所有节点独立地分布在平面 S 中,在任意位置不可能存在两个及以上的节点;
- 4) 所有节点具有相同的初始能量 E_0 ;
- 5) 超出风电机组之外的区域不需要部署节点;
- 6) 平面 S 半径 R 的大小要根据不同风电机组来确定,且大小要满足平面 S 可以覆盖整个风电机组的传动系统。

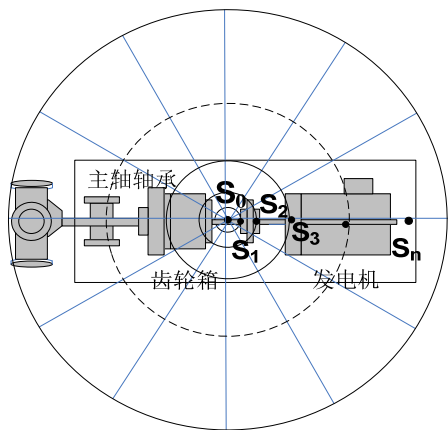


图 1 监测系统网络模型

Fig.1 Network model of monitoring system

根据上述假设构建如图 1 所示的监测系统网络模型,平面 S 被划分为如图所示的 12 个扇形区域,图中标记出来的半径分别代表 12 条通信链路;半径不同的圆环代表一轮,基站节点 S_0 为圆心位置,靠近基站的圆环为第 1 轮 S_1 ,其他圆环依次为第 2 轮 S_2 , ..., 第 N 轮 S_n 。所有节点在不同轮上依附所要监测的目标部件进行部署。通过路由协议设置节点之间的信息传递方式,使所有节点有序地沿着自己

所在扇形区域的链路传递信息,而不是在不同链路之间进行信息传递。具体地,在传递信息时, S_n 轮节点将自身采集到的信息传送给所在链路 S_{n-1} 轮节点, S_{n-1} 轮节点将 S_n 轮节点与自身采集到的信息传递给所在链路 S_{n-2} 轮节点,由此一轮一轮传递下去,最终将信息传递给基站。各个风电机组之间再通过基站来传递信息,再进一步将信息传递给陆上控制中心。由于本文重点关注节点的部署问题,因此并未对风电机组之间以及陆上控制中心的通信方式进行具体讨论,而重点对单台风电机组节点的部署方案进行研究。

1.2 监测系统网络的能量模型

通常,节点的能量都由电池来提供,虽然目前已有通过振动方式和太阳能方式供电的新型传感器节点,但这种节点性能的稳定性还有待提高。因此,考虑到海上恶劣环境,本文中节点选择电池供电方式。然而,在风电机组监测系统中,当节点电池能量耗尽时需要停机更换节点电池,这会大大降低风电场的经济效益。因此,提出合理的节点部署方案,在保证信息采集与传递的同时有效降低节点能耗,延长监测系统的使用寿命十分必要。

节点的能耗主要包含以下几个方面:

- 1) 处理能耗 E_{ca} : 处理能耗为节点进行简单的本地信息处理或者计算时所消耗的能量。
- 2) 传感能耗 E_s : 传感能耗为节点在采集状态信息时所消耗的能量。
- 3) 通信能耗 E_{RX} , E_{TX} : 通信能耗为节点发送和接收信息时所消耗的能量,其中 E_{RX} 为发送信息所消耗的能量, E_{TX} 为接收信息所消耗的能量。通过前文分析可知,设计海上风电机组状态监控系统时应尽量缩小节点之间的距离,以便减少无线信号的衰减,为便于计算本文直接采用理想空间能量消耗模型^[9],如图 2 所示。

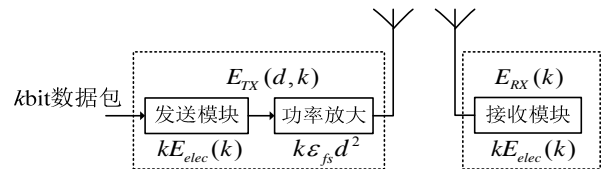


图 2 理想空间下发送与接收能量模型

Fig.2 Model of sending and receiving energy in free space

假设节点接收和发送 k 比特信息,接收端和发送端间距为 d ,则在接收端和发送端的能量消耗分别

为:

$$E_{TX}(d, k) = E_{TX-elec}(k) + E_{TX-amp}(d, k) \quad (6)$$

$$= kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}d^2$$

$$E_{RX}(d, k) = E_{RX-elec}(k) = kE_{elec} \quad (7)$$

式中, E_{elec} 是发送或接收 1bit 信息所消耗的能量,

$E_{TX}(d, k)$ 和 $E_{RX}(d, k)$ 分别表示在相距为 d 时, 发

送和接收 k bit 信息所需消耗的能量, ε_{fs} 是自由空间功率放大能耗。由于传感能耗和处理能耗相对于通信能耗来说很小, 忽略不计。

2 监测系统的节点部署方案

为解决海上风电机组监测系统 WSN 的节点部署问题, 本文共提出了三种节点部署方案: 均匀部署、能量均衡部署和基于覆盖度的能量均衡部署。

2.1 均匀部署方案

均匀部署方案, 即在每一条链路上等距离部署节点, 根据这样的限制条件则有方程组:

$$\begin{cases} r_1 = r_2 = \dots = r_n & \text{①} \\ \sum_{i=1}^n r_i = R & \text{②} \end{cases} \quad (8)$$

方程组中, r_i 表示同一条链路第 i 轮的节点到第 $i-1$ 轮节点之间的距离, ①式表示同一条链路中每个节点之间的距离相等; ②式表示同一条链路中每个节点之间的距离之和就是平面 S 的半径 R ; n 表示一条链路中所部署的节点个数, 解方程组便可得每个节点与基站的相对位置。

在该方案中, 节点部署简单易行, 只要满足相邻两个节点间的距离小于节点通信半径的 2 倍, 节点之间即可进行信息的可靠传输。通信半径即每个节点可进行信息可靠传输的最大距离。监测系统正常工作时, 所有节点都按照规定的路由协议将信息逐轮转发。由于靠近基站的节点需要不断转发外围节点的数据, 因此这些节点会因频繁转发信息而导致能量很快耗尽而失效, 导致系统生命周期过早结束。而此时, 还有很多节点尚有充足能量未能得到充分利用。因此, 需要对均匀部署方案进行改进, 充分、均衡地利用每个节点的能量来保证监测系统

的性能并延长其使用寿命。

2.2 EBDS 部署方案

能量均衡部署方案 (Energy balance deployment strategy, EBDS), 根据能量均衡条件对均匀部署方案进行改进, 通过改变每一轮圆环之间的距离使得所有节点能够充分利用自身能量并具有相同的生命周期, 从而达到能量均衡和延长监测系统使用寿命的目的。在同一条链路中, 节点的生命周期 T 为:

$$T = \frac{E_0}{E_{TX}(d, k) + E_{RX}(d, k)} \quad (9)$$

式中, E_0 为节点的初始能量, 即初始时电池所具有的能量。在 EBDS 部署中, 每一轮节点在给基站发送一次信息过程中所消耗的能量为 $E_1 = E_2 = \dots = E_n$ 。

第 1 轮、第 i 轮和第 n 轮的节点能耗分别为:

$$E_1 = n(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_1^2) + (n-1) \cdot kE_{elec} \quad (10)$$

$$E_i = (n-i-1)(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_i^2) + (n-i) \cdot kE_{elec} \quad (11)$$

$$E_n = kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_n^2 \quad (12)$$

根据能量均衡条件, 所有节点在给基站发送一次信息要消耗相同的能量, 则有方程组:

$$\begin{cases} n(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_1^2) + (n-1) \cdot kE_{elec} \\ = kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_n^2 & \text{①} \\ n(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_1^2) + (n-1) \cdot kE_{elec} \\ = (n-1)(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_2^2) + (n-2) \cdot kE_{elec} \\ n(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_1^2) + (n-1) \cdot kE_{elec} \\ = (n-i-1)(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_i^2) + (n-i) \cdot kE_{elec} \\ \vdots \\ n(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_1^2) + (n-1) \cdot kE_{elec} \\ = 2(kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}r_{n-1}^2) \\ + kE_{elec} \\ \sum_{i=1}^n r_i = R & \text{②} \end{cases} \quad (13)$$

方程组中, ①式表示第 1 轮节点所消耗的能量与第 n 轮节点所消耗的能量相等, 下面的等式均表示

每一轮的能耗与第1轮的节点能耗相同;②式表示每一轮之间的距离之和就是平面S的半径R。

对上述方程组求解可得每一轮之间的距离,即得到每个节点在风电机组上的确切部署位置。该方案中,节点给基站发送一次信息所消耗的能量 E_i 相同,基于该方案的监测系统的生命周期为:

$$T = \frac{E_0}{E_i} \quad (14)$$

在同一条链路中,若节点个数、初始能量和传递的信息量均相同,那么相对于均匀部署方式的监测系统而言,该方案能够充分利用每个节点的能量,提高监测系统的使用寿命。然而,该方案并未考虑节点之间的覆盖连通性问题,特别是在远离基站的位置,其所属的圆环区域面积逐渐变大时,节点的覆盖度会有所下降,无法保证节点之间的连通性,这会影响监测系统传递的信息的可靠性。因此,该部署方案只适用于监测范围比较小的情况,当监测范围较大时,会导致信息转发的丢失和错误,对风电机组的工作情况进行误判。为解决这一问题,下文提出了基于覆盖度的能量均衡部署方案。

2.3 EBDS-C 部署方案

基于覆盖度的能量均衡部署方案 (Energy balance deployment strategy of Cluster-heads based on the coverage, EBDS-C),该方案可解决EBDS部署方案中的覆盖连通性问题,将节点覆盖度作为节点部署的一个限制条件。本文将节点覆盖度定义为:

$$P(A) = \pi r^2 / n \quad (15)$$

式中, r 为节点的通信半径, n 为每一轮区域中节点个数,在小于等于节点通信半径内,节点之间是连通的。该方案是基于EBDS部署方案的改进,首先根据节点覆盖度来确定每一轮半径之间的关系,再根据能量均衡的限制条件来最终确定每一轮之间的距离。

假设在半径为 R 的圆形区域的一条链路上放置 n 个节点,第1轮的节点个数为 n_1 ,节点距离基站的位置为 r_1 ,第2轮节点个数为 n_2 ,第1轮距离第2轮的位置为 r_2 ,依次类推,则第 N 轮的节点个数为 n_n ,第 N 轮节点距离第 $N-1$ 轮的位置为 r_n ,为了保证所有的区域都有相同的节点覆盖度,则有:

$$\begin{cases} \frac{1}{12} \cdot \frac{\pi r_1^2}{n_1} = p(A) \\ \frac{1}{12} \cdot \frac{\pi (r_1 + r_2)^2 - \pi r_1^2}{n_2} = p(A) \\ \frac{1}{12} \cdot \frac{\pi (r_1 + r_2 + r_3)^2 - \pi (r_1 + r_2)^2}{n_3} = p(A) \\ \vdots \\ \frac{1}{12} \cdot \frac{\pi (r_1 + \dots + r_n)^2 - \pi (r_1 + \dots + r_{n-1})^2}{n_n} = p(A) \\ \sum_{i=1}^n r_i = R \end{cases} \quad (16)$$

同EBDS方案,需要考虑能量均衡,不同的是在该方案中每一轮节点的数目不同,根据此限制条件,则第1轮和第 N 轮节点的能耗分别为:

$$E_1 = \sum_{i=1}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_1^2) + (\sum_{i=1}^n n_i - 1) kE_{elec} \quad (17)$$

$$E_n = n_n (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_n^2) + (n_n - 1) kE_{elec} \quad (18)$$

为了保证每个节点在一次通信中都有相同的能量消耗,同EBDS方案则有方程组:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_1^2) + (\sum_{i=1}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ = \sum_{i=2}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_2^2) + (\sum_{i=2}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_1^2) + (\sum_{i=1}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ = \sum_{i=3}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_3^2) + (\sum_{i=3}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_1^2) + (\sum_{i=1}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ = \sum_{i=4}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_4^2) + (\sum_{i=4}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n n_i (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_1^2) + (\sum_{i=1}^n n_i - 1) \cdot kE_{elec} \\ = n_n (kE_{elec} + k\varepsilon_{fs} r_n^2) + (n_n - 1) \cdot kE_{elec} \end{cases} \quad (19)$$

对方程组 (16)、(19) 求解可得每个节点的位置以及每一轮中节点的个数。在部署节点过程中,

当一轮中节点个数大于2时,其他节点将部署到所在链路的圆环区域内。在该方案中,节点给基站发送一次信息所消耗的能量 E_i 相同,基于该方案的监测系统的生命周期为:

$$T = \frac{E_0}{E_i} \quad (20)$$

3 仿真分析

由上文分析可知,对于风电机组而言,监测系统的使用寿命,即WSN的生命周期,与监测系统传递风电机组状态信息的可靠性是评价监测系统优劣的主要标准。影响监测系统生命周期的因素有节点个数 n 、初始能量 E_0 及传递的信息量 k 。影响监测系统传递状态信息可靠性的因素为节点之间的覆盖连通性。本文以华锐SL3000风电机组为例进行节点部署,分别对三种节点部署方案的监测系统生命周期进行比较分析,选出最优的节点部署方案。

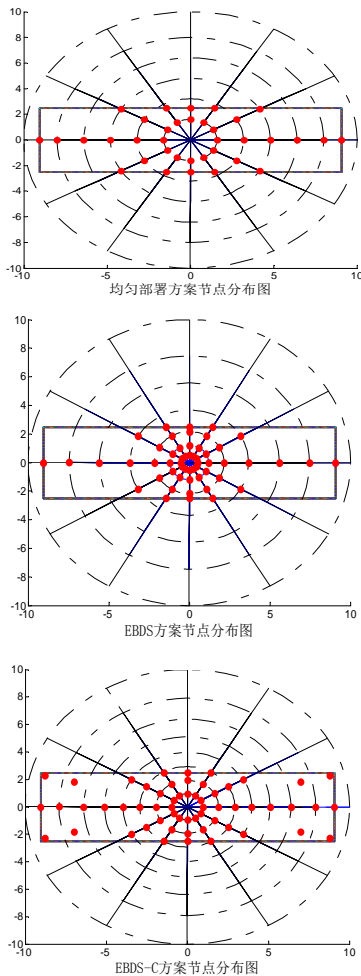


图3 监测系统节点分布图

Fig.3 Node distribution of monitoring system

华锐SL3000风电机组的机舱长为12.3m,宽为5m,轮毂长为5.8m,则该风电机组的网络模型可简化为以传动轴为对称线、半径为10m的圆形区域 S 。假设每个节点的通信半径为0.8m,一次通信过程中给基站转发的信息量 $k=30\text{bit}$,初始能量 $E_0=3\text{J}$,分别根据式(8)、(13)、(16)和(19)计算出每个节点相对于基站的位置,通过Matlab仿真得出三种部署方案节点的具体分布情况,如图3所示。图中长方形为风电机组的机舱和轮毂的简化模型,红色圆点为所部署的节点,圆心为基站的位置。

根据节点的分布情况分别在初始能量为1.5J、3J和5J,以及传递信息量大小为30kbit、60kbit和120kbit的情况下,对三种部署方案下的监测系统生命周期影响因素进行分析比较。仿真中具体参数如表1所示^[10]。

表1 仿真实验参数

Table 1 Simulation parameters

覆盖区域大小	$R=10\text{m}$
$\epsilon_{fs}(\text{pJ}\cdot\text{bit}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$	100
$E_{elec}(\text{nJ}\cdot\text{bit}^{-1})$	50
基站的位置	(0,0)
信息大小 k/bit	30,60,120
能量模型	First Order Radio 模型
节点初始能量 E_0/J	1.5, 3, 5

图4为具有相同节点初始能量和转发相同信息量的条件下,均匀部署和EBDS部署方案中,一条链路上所有节点消耗的能量总和。从图中可以看出,EBDS部署下,同一条链路上节点消耗的能量总和远小于均匀部署方案。这是由于在能量均衡的限制条件下,EBDS部署方案中每个节点的能量都得到充分利用,节点生命周期延长。

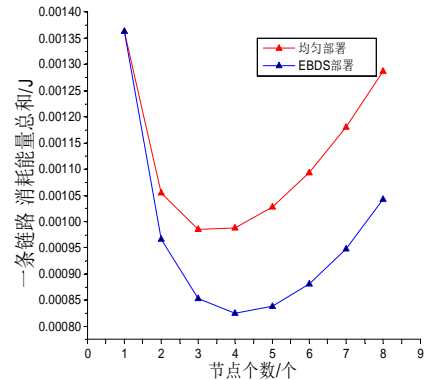


图4 均匀部署与EBDS均衡部署的总能耗

Fig.4 Total energy consumption of uniform deployment strategy and EBDS

图 5、6、7 分别为均匀部署、EBDS 和 EBDS-C 方案下,不同初始能量(E_0)和节点转发不同的信息量(k_{sensor})时的网络生命周期对比图。显而易见,在图(a)中,随着节点的初始能量 E_0 的增加,网络的生命周期也会增加,而在图(b)中,随着传递的信息量 k_{sensor} 的变大,网络生存周期也会减少。在 EBDS 方案中,随着每一轮之间的距离 r_i 的增大,节点之间不能进行可靠的信息传输,这将会显著影响监测系统的可靠性。在 EBDS-C 方案中,网络生命周期相对 EBDS 部署方案有所下降,但优于均匀部署方案,且该方案能够保证监测到的状态信息的可靠性。

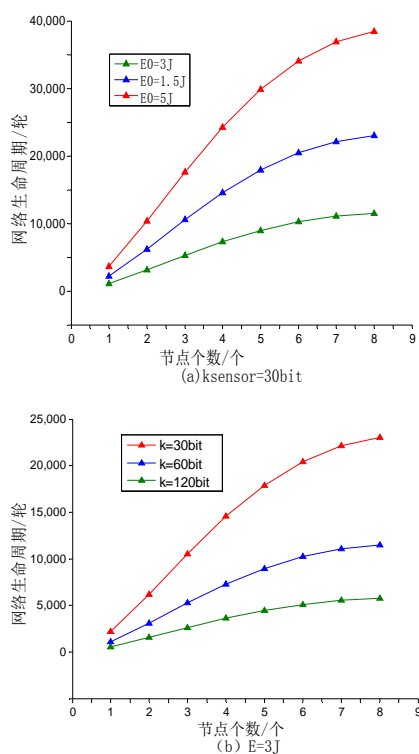


图 5 均匀部署下初始能量和信息量对网络生存周期的影响
Fig.5 Impacts of initial energy and sensor data size on network lifecycle under consumption of uniform deployment strategy

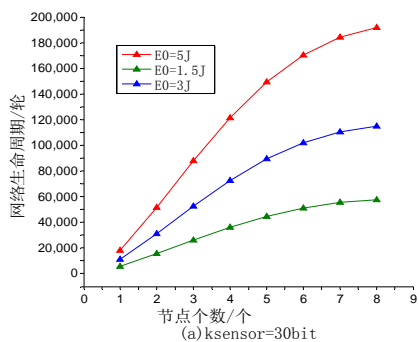


图 6 EBDS 下初始能量和信息量对网络生存周期的影响
Fig.6 Impacts of initial energy and sensor data size on network lifecycle under EBDS

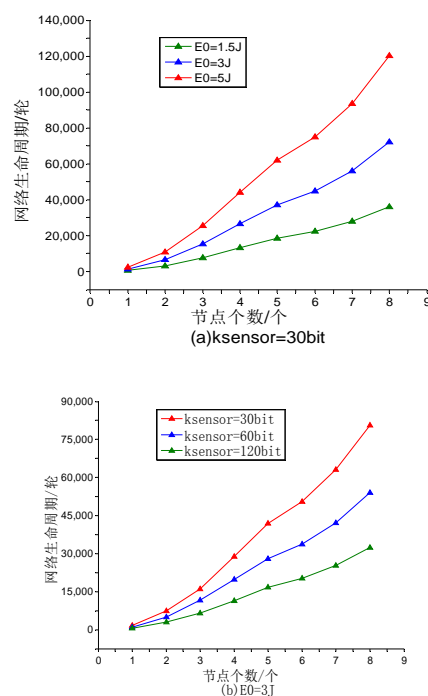


图 7 EBDS-C 下初始能量和信息量对网络生存周期的影响
Fig.7 Impacts of initial energy and sensor data size on network lifecycle under EBDS-C

由上文的仿真分析可知,当监测系统的 WSN 中节点数量一定时,WSN 的生命周期与节点所传递的信息量 k_{sensor} 和节点所具备的初始能量 E_0 息息相关。为了进一步说明三种部署方案的优劣性,分别假设在三种部署方案下每个节点的初始能量 $E_0=3J$,每个节点传递的信息量 $k=30\text{bit}$,通过仿真分析比较三种方案对 WSN 的生命周期的影响,如图 8 所示。

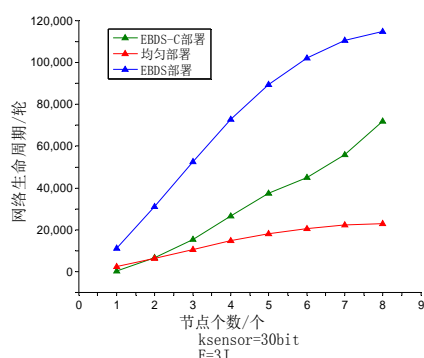


图 8 均匀部署、EBDS 部署和 EBDS-C 部署的网络生命周期
Fig.8 Network lifecycle of uniform deployment strategy、EBDS and EBDS-C

通过图 8 可以明显看出,在 ESDB 和 EBDS-C 部署方案下,WSN 的生命周期相对于均匀部署方案均有所提高,且 EBDS 提高的更多,但该部署方案不能保障节点之间的连通覆盖性,不利于风电机组状态信息的可靠传递。同时,在 EBDS 部署下,当节点个数较多时,网络生命周期的增长曲线变得比较平坦。在 ESDB-C 部署方案中,为了保证节点的覆盖度,增加了节点个数,导致节点转发信息量增大,降低了 WSN 的生命周期。而 EBDS-C 部署不仅能够提高网络的生命周期,还能保证整个网络的连通性,使得传递的状态信息准确可靠,从这个角度而言,EBDS-C 部署优于 EBDS。因此,为了更好地提高监测系统的使用寿命,在实际应用中,可以在小型风电机组中采用 EBDS 部署方法,在大型风电机组中采用 EBDS-C 部署方法,同时可结合数据融合等技术减少传递的信息量,从而达到延长监测系统使用寿命的目的。

4 结束语

本文利用 WSN 技术构建海上风电机组的状态监测系统,在风电机组上部署不同类型的节点以确保及时采集风电机组的状态信息。文中提出了三种构建单台海上风电机组状态监测系统的节点部署方案,并进行了分析比较,指出了各个方案的优缺点和适用场合。论文研究成果将为风电机组状态监测系统的构建提供新的思路。需要指出的是文章仅是对风电机组的节点部署进行研究,并未给出风电场中各个风电机组之间的信息传递方式,以及和陆上

控制中心的通信方式,这将是进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] 傅质馨,袁越. 海上风电机组状态监控技术研究现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(21): 121-129.
- [2] 司海飞,杨忠,王珺. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 机电工程, 2011, 28(1): 16-21.
- [3] 郭艳平,颜文俊,包哲静. 风力发电机组在线故障预警与诊断一体化系统设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(16): 83-86.
- [4] 王哲敏. 无线传感器网络在风力发电机组状态监测中的应用研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2010.
- [5] 郭秀明,赵春江,等. 基于网格扫描的实现目标点覆盖的确定性传感器节点部署方法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(1): 104-109.
- [6] 吴晓军,张力,马悦. 无线传感器网络不等级能级环模型及数据传输策略[J]. 西北大学学报, 2012, 42(4): 563-569.
- [7] AAMODT BK. CC2431locationengine[S]. Texas: Application[C], Note AN042, 2006.
- [8] Heinzelman WB, Chandrakasa AP, Balakrislman H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions wireless communication. 2002, 1(4): 660-670.
- [9] Mhatre V, Rosenberg C. Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation[J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2 (1): 45-6.

作者简介:

傅质馨 (1983-), 女, 通信作者, 博士后, 讲师, 主要研究方向为可再生能源发电技术, 无线传感器网络, Email: zhixinfu@hhu.edu.cn;

赵敏 (1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为海上风电监测, 可再生能源发电技术, 无线传感器网络, Email: zhaom1114@163.com;

袁越 (1966-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统优化运行, 电力系统稳定分析与控制, 可再生能源与节能新技术, E-mail: yyuan@hhu.edu.cn.

A Deployment Strategy of Wireless Sensor Networks for Offshore Wind Turbine Condition Monitoring System

FU Zhixin, ZHAO Min, YUAN Yue, ZONG Xuanjun, ZHANG Chengfei

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu, 211100; 2. Renewable Energy Technologies Engineering Research Center of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing, Jiangsu, 210098)

Abstract: Due to the adverse environment on the sea, the poor accessibility and other factors, the faults of offshore wind turbine occur frequently. Using monitoring system, the problems can be found and solved in time to avoid great loss. The wireless sensor network (WSN) technology is applied to build the offshore wind turbine condition monitoring systems. The reasonable deployment of wireless sensor network's nodes (referred nodes) is the key to achieve high-efficiency operation of the system. In this paper, three kinds of node deployment schemes are proposed, which includes uniform deployment strategy, energy balance deployment strategy (EBDS) and energy balance deployment strategy of Cluster-heads (EBDS-C) based on the coverage. Analyzing these schemes in theoretic analysis and experiments, the results show that all schemes can realize the wind turbine condition monitoring system, whose EBDS and EBDS-C are more suitable for condition monitoring of offshore wind turbine, Because they not only can convey information effectively and reliably but also extend the service life of monitoring system.

This work is supported by Jiangsu Provincial Natural Science Foundation of China (No. BK2012409) and the Special Found for Basic Scientific Research of Central Colleges, Hohai University(No. 2011B09014).

Key words: offshore wind turbine; condition monitoring; wireless sensor network; energy balance; service lif