



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103906210 B

(45)授权公告日 2017.06.20

(21)申请号 201410141499.8

(22)申请日 2014.04.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103906210 A

(43)申请公布日 2014.07.02

(73)专利权人 河海大学
地址 211100 江苏省南京市江宁开发区佛城西路8号

(72)发明人 李乔木 傅质馨 袁越 刘冠群

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.

H04W 52/02(2009.01)

H02S 10/00(2014.01)

(56)对比文件

CN 103546948 A,2014.01.29,

CN 101286917 A,2008.10.15,

傅质馨等.无线传感器网络节点部署问题研究.《传感器与微系统》.2008,第27卷(第3期),李强.基于无线传感器网络低功耗节点设计的关键技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》.2012,I136-698.

傅质馨等.海上风电机组状态监控技术研究现状与展望.《电力系统自动化》.2012,第36卷(第21期),

Zhixin Fu et al.Monitoring model of Wireless sensor networks based on state.《2008 Chinese Control and Decision Conference》.2008,2018 - 2023.

审查员 李倩

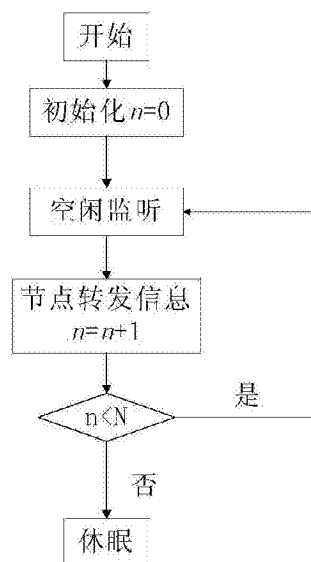
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法

(57)摘要

本发明公开了一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,其据光照强度及环境温度日变化规律,传感器节点在一天中不同时段以不同的采样周期采集光照强度和环境温度信息。本发明提供的分布式光伏发电系统监控网络中传感器节点的休眠/唤醒调度机制,适用于各种不同的天气条件,且保证信息采集的可靠性;为了减少监控网络的能量消耗,延长网络的使用寿命,提出了综合考虑光照强度及环境温度的传感器节点最小深度休眠/唤醒调度机制,其基本思想是通过动态调整传感器节点在一天中不同时段的不同深度,灵活调整节点的休眠/唤醒时间,实现减少传感器节点的能量消耗,延长监控网络的使用寿命。



1. 一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,包括被分为若干簇的传感器节点,并依据能耗最小原则为每个簇选择簇首节点,其特征在于,包括以下步骤:

1) 根据光照强度及环境温度日变化规律,传感器节点在一天中不同时段以不同的采样周期 Δt 采集光照强度和环境温度信息;

2) 传感器节点之间以树状拓扑结构进行信息传输,并依据最小跳数原则建立自身的信息传输路径,所有的传感器节点均以多跳的形式向簇首节点发送信息;

3) 每个传感器节点发送完自身所需发送的N条信息后,进入休眠状态,直到下一次采样周期 Δt 的到来。

2. 根据权利要求1所述的分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,其特征在于,所述步骤1)中根据高斯拟合法得到的晴天和阴天条件下光照强度和环境温度采样数据的拟合曲线,当光照强度变化日辐照度最大幅值的2%,传感器节点采集一次光照强度信息,当环境温度变化日最大温差 ΔT 的2%时,传感器节点采集一次环境温度信息,选择光照强度采样周期和环境温度采样周期中的最小值作为传感器节点的采样周期 Δt 。

3. 根据权利要求1所述的分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,其特征在于,所述步骤3)中根据每个传感器节点的不同深度d,将深度d与采样周期 Δt 的乘积作为唤醒时间 T_a 。

4. 根据权利要求3所述的分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,其特征在于,空闲监听时间为:

$$\Delta t_i = Nh \frac{(D-d)}{v}$$

式中N为监控网络中传感器节点的总数,h为节点间信息传输的距离,v为信息传输速率,D为节点的最大深度。

5. 根据权利要求3或4所述的分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,其特征在于,传感器节点的能量消耗主要在发送信息、接收信息、空闲监听和休眠4个方面,节点在一个周期内的能耗情况为:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{active}} + \Delta W_{\text{sleep}}$$

其中 ΔW_{active} 为节点在活跃状态时的能耗, ΔW_{sleep} 为节点在休眠状态时的能耗;

节点活动状态时的能耗为信息接收、信息发送和空闲监听的能耗之和,假设信息接收、信息发送和空闲监听的能耗分别为 ΔW_r 、 ΔW_s 、 ΔW_i ,则:

$$\begin{cases} \Delta W_{\text{active}} = \Delta W_r + \Delta W_s + \Delta W_i \\ \Delta W_{\text{sleep}} = U_{\text{sleep}} I_{\text{sleep}} \Delta t_{\text{sleep}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta W_s = UI_s \Delta t_s \\ \Delta W_r = UI_r \Delta t_r \\ \Delta W_i = UI_i \Delta t_i \end{cases}$$

式中:

U, U_{sleep} : 分别为节点的工作电压和休眠电压;

$I_s, I_r, I_i, I_{\text{sleep}}$: 分别为节点发送信息、接收信息、空闲监听和休眠时的电流;

$\Delta t_s, \Delta t_r, \Delta t_i, \Delta t_{\text{sleep}}$: 分别为节点发送信息、接收信息、空闲监听和休眠的时间;

假设监控网络中传感器节点的总能量为 ΔW_{total} ，则节点的寿命 T 可表示为：

$$T = \frac{\Delta W_{total}}{\Delta W} \Delta t。$$

一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,属于光伏发电领域。

背景技术

[0002] 目前,光伏发电已成为太阳能发电的主流趋势,分布式光伏并网发电具有即发即用、适用性强、无需储能等特点,可以对电网起到有力的补充。然而光伏发电系统容易受到外界因素的影响,其出力具有较大的随机性和波动性,随着分布式光伏发电系统在配电网中的渗透率的不断提高,其大量并网将给电网带来不可忽视的影响。通过建立可靠的监控系统,可以为分布式光伏发电系统与电网的协同调度提供指导,以更好地应对未来大规模分布式光伏发电并网的需求。

[0003] 传统的光伏发电系统监控网络智能化程度较低,需要大量的人力、物力和财力,难以满足监控网络对智能化、无人、少人看守的要求,制约了分布式光伏发电系统的发展。鉴于分布式光伏发电系统规模日益增大及分布运行的特点,其对监控网络灵活性、可靠性和智能化程度提出了更高的要求。无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)因其所具有较强的信息处理能力、存储能力和通信能力,可实时感知监控区域内的环境状态,为光伏发电系统监控网络的构建提供了新的思路。将WSN技术应用于分布式光伏发电系统监控网络,对分布式光伏电源进行双向、动态的实时监控,可以对光伏发电进行准确的出力预测,减小光伏发电不确定性对电网的冲击,这对提高电网对分布式光伏发电系统的接纳和控制能力具有重要意义。

[0004] 由于传感器节点是由能量有限的电池供电的,对基于WSN技术构建的分布式光伏发电系统监控网络,能耗问题成为制约监控网络运行寿命的主要“瓶颈”。

发明内容

[0005] 发明目的:本发明提出一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,有效节约监控传感器网络的能耗,延长其运行寿命。

[0006] 技术方案:本发明采用的技术方案为一种分布式光伏发电装置传感器网络节点休眠调度方法,包括被分为若干簇的传感器节点,并依据能耗最小原则为每个簇选择簇首节点,包括以下步骤:

[0007] 1)根据光照强度及环境温度日变化规律,传感器节点在一天中不同时段以不同的采样周期 Δt 采集光照强度和环境温度信息;

[0008] 2)传感器节点之间以树状拓扑结构进行信息传输,并依据最小跳数原则建立自身的信息传输路径,所有的传感器节点均以多跳的形式向簇首节点发送信息;

[0009] 3)每个传感器节点发送完自身所需发送的N条信息后,进入休眠状态,直到下一次采样周期 Δt 的到来。

[0010] 优选地,所述步骤1)中根据高斯拟合法得到的晴天和阴天条件下光照强度和环

温度采样数据的拟合曲线,当光照强度变化日辐照度最大幅值的2%,传感器节点采集一次光照强度信息,当环境温度变化日最大温差 ΔT 的2%时,传感器节点采集一次环境温度信息,选择光照强度采样周期和环境温度采样周期中的最小值作为传感器节点的采样周期 Δt 。

[0011] 优选地,所述步骤3)中根据每个传感器节点的不同深度 d ,将深度 d 与采样周期 Δt 的乘积作为唤醒时间 T_a 。而空闲监听时间为:

$$[0012] \quad \Delta t_i = Nh \frac{(D-d)}{v}$$

[0013] 式中 N 为监控网络中传感器节点的总数, h 为节点间信息传输的距离, v 为信息传输速率, D 为节点的最大深度。

[0014] 优选地,传感器节点的能量消耗主要在发送信息、接收信息、空闲监听和休眠4个方面,节点在一个周期内的能耗情况为:

$$[0015] \quad \Delta W = \Delta W_{active} + \Delta W_{sleep}$$

[0016] 其中 ΔW_{active} 为节点在活跃状态时的能耗, ΔW_{sleep} 为节点在休眠状态时的能耗。

[0017] 节点活动状态时的能耗为信息接收、信息发送和空闲监听的能耗之和,假设信息接收、信息发送和空闲监听的能耗分别为 ΔW_r 、 ΔW_s 、 ΔW_i , 则:

$$[0018] \quad \begin{cases} \Delta W_{active} = \Delta W_r + \Delta W_s + \Delta W_i \\ \Delta W_{sleep} = U_{sleep} I_{sleep} \Delta t_{sleep} \end{cases}$$

$$[0019] \quad \begin{cases} \Delta W_s = UI_s \Delta t_s \\ \Delta W_r = UI_r \Delta t_r \\ \Delta W_i = UI_i \Delta t_i \end{cases}$$

[0020] 式中:

[0021] U, U_{sleep} : 分别为节点的工作电压和休眠电压;

[0022] I_s, I_r, I_i, I_{sleep} : 分别为节点发送信息、接收信息、空闲监听和休眠时的电流;

[0023] $\Delta t_s, \Delta t_r, \Delta t_i, \Delta t_{sleep}$: 分别为节点发送信息、接收信息、空闲监听和休眠的时间。

[0024] 假设监控网络中传感器节点的总能量为 ΔW_{total} , 则节点的寿命 T 可表示为:

$$[0025] \quad T = \frac{\Delta W_{total}}{\Delta W} \Delta t$$

[0026] 有益效果: 本发明提供的分布式光伏发电系统监控网络中传感器节点的休眠/唤醒调度机制,适用于各种不同的天气条件,且保证信息采集的可靠性;为了减少监控网络的能量消耗,延长网络的使用寿命,提出了综合考虑光照强度及环境温度的传感器节点最小深度休眠/唤醒调度机制,其基本思想是通过动态调整传感器节点在一天中不同时段采样周期,并根据节点在监控网络中的不同深度,灵活调整节点的休眠/唤醒时间,实现减少传感器节点的能量消耗,延长监控网络的使用寿命。

附图说明

- [0027] 图1为分布式光伏阵列的输出功率随时间变化图；
- [0028] 图2为监控网络节点的工作周期示意图；
- [0029] 图3(a)为晴天时美国洛杉矶光照强度的采样数据；
- [0030] 图3(b)为阴天时美国洛杉矶光照强度的采样数据；
- [0031] 图4(a)为洛杉矶晴天时采用高斯拟合法得到的光照强度采样数据的拟合曲线；
- [0032] 图4(b)为洛杉矶阴天时采用高斯拟合法得到的光照强度采样数据的拟合曲线；
- [0033] 图5为恶劣天气时美国洛杉矶光照强度的采样数据；
- [0034] 图6(a)为晴天时美国洛杉矶环境温度的采样数据；
- [0035] 图6(b)为阴天时美国洛杉矶环境温度的采样数据；
- [0036] 图7(a)为洛杉矶晴天时采用高斯拟合法得到的环境温度采样数据的拟合曲线；
- [0037] 图7(b)为洛杉矶阴天时采用高斯拟合法得到的环境温度采样数据的拟合曲线；
- [0038] 图8为监控网络中传感器节点的最小深度确定过程；
- [0039] 图9为传感器节点的休眠策略流程图；
- [0040] 图10为不同规模监控网络采用固定采样周期和低能耗自适应采样周期的能耗对比曲线；
- [0041] 图11为不同规模监控网络采用固定采样周期和低能耗自适应采样周期的网络运行寿命对比情况；
- [0042] 图12为不同规模监控网络采用同步休眠/唤醒调度机制和采用最小深度休眠唤醒调度机制的能耗对比曲线。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图和具体实施例,进一步阐明本发明,应理解这些实施例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围,在阅读了本发明之后,本领域技术人员对本发明的各种等同形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

[0044] 为了对分布式光伏发电系统的输出功率做出合理预测,需首先了解光伏发电系统的数学模型。光伏阵列输出功率的数学表达式为:

$$[0045] \quad P_s = \eta SI [1 - 0.005 (t_0 + 25)] \quad (1)$$

[0046] 式中: η 表示光伏阵列的转换效率; S 表示光伏阵列的面积; I 表示光照强度; t_0 表示大气温度。由式(1)可知,光伏阵列的输出功率同时受光照强度和环境温度的影响,因此,为了对光伏系统的输出功率做出合理预测,监控网络中的传感器节点应同时采集光照强度及环境温度信息。

[0047] 由图1可知,光伏阵列在夜间停止工作,因此,监控网络中的传感器节点也无需在一天中时刻保持工作状态。根据我国一年中光照强度的日变化情况,可将传感器节点的工作时间设定为每天的06~20h。

[0048] 接下来建立监控网络模型。以一个小型光伏发电系统监控网络为例,假设该监控网络由1个簇首节点和N个同构的传感器节点组成,由于光伏阵列的输出功率同时受光照强度和环境温度的影响,因此在构建监控网络时,宜选用可同时采集光照强度和环境温度的传感器节点,减少传感器的使用数量。

[0049] 根据光伏面板自身的特性,各传感器节点在面板上的位置固定不变,节点周期性

的采集光照强度和环境温度信息,并将信息以多跳方式发送给簇首节点。鉴于WSN的树状拓扑结构具有结构简单、信息传输能耗小、效率高等优点,监控网络中的传感器节点采用树状拓扑结构进行信息传递。

[0050] 监控网络中的传感器节点通常有两个主要工作状态:活动状态和休眠状态,活动状态又包括:信息发送状态、信息接收状态和空闲监听状态。节点在活动状态下的能耗远大于休眠状态下的能耗,因此,在保证监控网络正常工作的前提下,应使节点尽快进入休眠状态,延长其休眠时间,以节约节点能耗。

[0051] 可将监控网络中传感器节点的工作时间以周期 Δt 进行划分,对其周期性地进行休眠和唤醒,如图2所示。节点在每个采样周期开始时被唤醒,然后按照工作需要,进行光照强度和环境温度信息的采集、接收或进入空闲监听状态,并在发送完全部信息后进入休眠状态,直到下一个采样周期开始才重新被唤醒。

[0052] 在典型天气情况下,光照强度的日变化具有一定的规律,通常晴天状态下,一天中光照强度呈波峰状态,06~10h光照强度呈上升趋势,变化较为迅速;10~14h是光照强度最强的时段,这期间光照强度变化较为缓慢;14~16h光照强度下降,且变化较快。而在阴天时,光照强度的日变化趋势同样具有一定的规律。

[0053] 图3(a)和图3(b)分别为2013年12月26日(晴天)和2013年6月7日(阴天),美国洛杉矶光照强度的采样数据,采样周期为1min,该数据可基本反映在典型晴天和阴天条件下光照强度的日变化规律。根据光照强度的日变化规律,在保证光照强度信息可靠采集的前提下,可动态调整传感器节点的采样周期,如:中午时段光照强度变化较为缓慢,可适当延长节点的采样周期;早晚时段光照强度变化较为迅速,可相应缩短其采样周期。

[0054] 为在节约节点能耗的同时,保证信息采集的可靠性,应为节点采样周期的确定设定标准。假设光照强度变化了日辐照度最大幅值 ΔL 的2%,节点就采集一次光照强度信息,即

$$[0055] \quad f_1(\Delta t_1) = \Delta L \times 2\% \quad (2)$$

[0056] 式中 f_1 为光照强度采样数据拟合曲线的函数表达式, Δt_1 为基于光照强度变化规律而确定的节点动态采样周期。当然,在实际应用中,可根据不同的需求灵活地设定该标准。为准确计算节点的采样周期,需得知光照强度日变化规律的数学函数表达式。图4(a)、(b)分别为采用高斯拟合法得到的晴天和阴天条件下光照强度采样数据的拟合曲线。通过计算可得在典型天气条件下,基于光照强度的监控网络中传感器节点在一天中不同时间段的采样周期 Δt_1 为:

[0057] 晴天时:

[0058] (1) 06~10h和14~20h,采样周期为 $\Delta t_1=0.06h$;

[0059] (2) 10~11h和13~14h,采样周期为 $\Delta t_1=0.1h$;

[0060] (3) 11~13h,采样周期为 $\Delta t_1=0.12h$ 。

[0061] 阴天时:

[0062] (1) 06~10h,采样周期为 $\Delta t_1=0.2h$;

[0063] (2) 10~12h,采样周期为 $\Delta t_1=0.06h$;

[0064] (3) 12~15h,采样周期为 $\Delta t_1=0.03h$;

[0065] (4) 15~20h,采样周期为 $\Delta t_1=0.1h$ 。

[0066] 如果既非晴天,也非阴天,光照强度在一天中变化幅度较大,且无规律可循(如图5所示),可将此种天气状况定义为恶劣天气。在恶劣天气条件下,传感器节点的采样周期在一天中不同时段不进行上述动态调整,节点保持每1min采集一次信息。

[0067] 与光照强度相同,在典型天气条件下,环境温度的日变化也呈现一定的规律。06~12h温度呈上升趋势,变化迅速;12~15h是一天中温度最高的时段,且变化较为缓慢;15~20h温度呈下降趋势,变化趋势明显;20~06h(翌日)是一天中温度最低的时段,且变化较为平缓。由于光伏阵列在夜间停止工作,因此在计算基于环境温度的节点采样周期时,仅考虑白天时温度的变化规律。

[0068] 图6(a)、(b)分别为2013年12月26日(晴天)和2013年6月7日(阴天),美国洛杉矶的环境温度采样数据,采样周期为1min,该数据可基本反应在典型天气条件下温度的日变化规律。同样采用高斯曲线拟合法,可得晴天和阴天时环境温度的日变化拟合曲线分别如图7(a)、(b)所示。假设环境温度每变化日最大温差 ΔT 的2%时,传感器节点采集一次温度信息,即

$$[0069] \quad f_2(\Delta t_2) = \Delta T \times 2\% \quad (3)$$

[0070] 式中, f_2 为环境温度采样数据拟合曲线的数学函数表达式, Δt_2 为基于环境温度变化规律而确定的节点动态采样周期。根据拟合曲线的数学函数表达式,可通过计算求得在典型天气条件下,基于环境温度的监控网络中传感器节点在一天中不同时段的采样周期 Δt_2 为:

[0071] 晴天时:

[0072] (1) 06~07h和17~20h,采样周期为 $\Delta t_2=0.08h$;

[0073] (2) 07~11h和14~17h,采样周期为 $\Delta t_2=0.03h$;

[0074] (3) 11~14h,采样周期为 $\Delta t_2=0.12h$ 。

[0075] 阴天时:

[0076] (1) 06~09h,采样周期为 $\Delta t_2=0.05h$;

[0077] (2) 09~13h,采样周期为 $\Delta t_2=0.1h$;

[0078] (3) 13~20h,采样周期为 $\Delta t_2=0.06h$;

[0079] 恶劣天气条件下,节点的采样周期为1min。

[0080] 由于光伏面板上的传感器节点同时采集光照强度和环境温度信息,其采样周期 Δt 应由 Δt_1 、 Δt_2 二者共同决定。为确保信息采集的可靠性,在同一时段,节点的采样周期 Δt 应选取 Δt_1 、 Δt_2 中的较小值,由此可确定在典型天气条件下,传感器节点在一天中不同时段的采样周期 Δt 应为:

[0081] 晴天时:

[0082] (1) 06~07h和17~20h,采样周期为 $\Delta t=0.06h$;

[0083] (2) 07~10h和14~17h,采样周期为 $\Delta t=0.03h$;

[0084] (3) 10~11h和13~14h,采样周期为 $\Delta t=0.1h$;

[0085] (4) 11~13h,采样周期为 $\Delta t=0.12h$ 。

[0086] 阴天时:

[0087] (1) 06~09h,采样周期为 $\Delta t=0.05h$;

[0088] (2) 09~10h,采样周期为 $\Delta t=0.1h$;

[0089] (3) 10~12h和15~20h,采样周期为 $\Delta t=0.06h$;

[0090] (4) 12~15h,采样周期为 $\Delta t=0.03h$ 。

[0091] 恶劣天气时,采样周期为1min。

[0092] 四、传感器节点最小深度休眠/唤醒机制

[0093] 1、传感器节点最小深度的确定

[0094] 对于采用树状拓扑结构的分布式光伏发电系统监控网络,由于不同传感器节点在监控网络中所处位置不同,若对所有节点采用同步休眠/唤醒调度策略,势必造成深度较大的传感器节点存在大量不必要的空闲监听时间,造成能量浪费,缩短监控网络的使用寿命。最小深度休眠/唤醒调度策略即根据传感器节点在树状拓扑结构中位置和深度的不同,灵活决定其休眠/唤醒时间,以减少能耗。

[0095] 最小深度休眠/唤醒策略的基本思想为:监控网络初始化时,每个节点按照已经建立的路径以广播的形式发送自己的ID地址信息,该路径上的其它传感器节点接收并记录该地址信息。当所有节点都成功发送并接收自身和其它节点的ID地址信息后,统计在不同路径上拥有某节点地址信息的节点数量(除该节点自身外),最大值即节点的最大深度D,最小值即节点的最小深度d。对一个最小深度为d最大深度为D的传感器节点,其唤醒时间 T_a 为:

[0096] $T_a = d \times \Delta t$ (4)

[0097] 空闲监听时间为:

[0098]
$$\Delta t_i = Nh \frac{(D-d)}{v}$$
 (5)

[0099] 式中N为监控网络中传感器节点的数量,h为相邻节点间的信息传输距离,v为信息传输速率。

[0100] 如图8所示,有3条传输路径与1号传感器节点相连,3条路径分别为:1→2→4→6、1→2→4→7和1→3→5,则在这3条路径上,除1号节点外,拥有1号节点地址信息的传感器节点数量分别为3、3、2,因此对于1号节点,其最大深度D为3,最小深度d为2。

[0101] 2、传感器节点的休眠策略

[0102] 位于光伏面板不同位置的传感器节点在监控网络中担任不同的任务,如:位于面板边界处的传感器节点(边界节点)只负责自身光照强度和环境温度的采集、处理和传输;而位于面板内部的传感器节点(内部节点),不仅要负责自身信息的采集、处理等任务,还需要接收和传递其它传感器节点的信息。对于边界节点,当其发送完自身信息后,即可立即进入休眠状态,而对于内部节点,则需要汇聚并发送完其所需发送的全部信息后,才可以休眠。为了更好地对监控网络中不同深度的传感器节点进行休眠调度,每个传感器节点应维护一张属于自己的运行状态表格(Running Status Table,RST),表格中应包含节点采样周期 Δt 、唤醒时刻 T_a 、应发送信息数N等信息。根据不同节点的RST信息,节点的休眠调度算法为:

[0103] (1) 根据RST信息确定该节点所需转发的信息数N;

[0104] (2) 判断节点已成功发送的信息数n是否与N相等;

[0105] (3) 若 $n=N$,则节点立即进入休眠状态,否则继续保持空闲监听状态。

[0106] 图9为该休眠调度策略的流程图。

[0107] 五、监控网络寿命模型

[0108] 假设监控网络的寿命为网络运行至第一个节点失效所经历的时间,由于簇首节点负责汇聚并发送网络中全部其它节点的信息,因此在所有节点中,其能耗最大,寿命最短。忽略外界干扰及恶意破坏,认为监控网络的寿命与簇首节点的寿命直接相关。

[0109] 在一个采样周期 Δt 内,簇首节点的活动时间 Δt_a 和休眠时间 Δt_{sleep} 模型为:

$$[0110] \quad \begin{cases} \Delta t_a = \Delta t_s + \Delta t_r + \Delta t_i \\ \Delta t_{sleep} = \Delta t - \Delta t_a \end{cases} \quad (6)$$

$$[0111] \quad \begin{cases} \Delta t_s = (N+1) \frac{l}{v} \\ \Delta t_r = N \frac{l}{v} \\ \Delta t_i = Nh \frac{(D-d)}{v} \end{cases} \quad (7)$$

[0112] 式中:

[0113] Δt_s : 信息发送所需时间;

[0114] Δt_r : 信息接收所需时间;

[0115] Δt_i : 空闲监听时间;

[0116] v : 比特率;

[0117] l : 数据帧长度;

[0118] N : 监控网络中传感器节点的总数;

[0119] h : 相邻节点间信息传输的距离;

[0120] D : 传感器节点在树状拓扑结构中的最大深度;

[0121] d : 传感器节点在树状拓扑结构中的最小深度。

[0122] 假设簇首节点的寿命为 T , 节点的初始能量为 W , 节点处于信息发送状态、信息接收状态、空闲监听状态和休眠状态的功耗分别为 ΔP_s 、 ΔP_r 、 ΔP_i 和 ΔP_{sleep} , 则簇首节点一个采样周期所消耗的能量 ΔW 为:

$$[0123] \quad \Delta W = \Delta P_s \Delta t_s + \Delta P_r \Delta t_r + \Delta P_i \Delta t_i + \Delta P_{sleep} \Delta t_{sleep} \quad (8)$$

[0124] 簇首节点的寿命 T (即监控网络的寿命), 为:

$$[0125] \quad T = \frac{W}{\Delta W} \Delta t \quad (9)$$

[0126] 六、仿真分析

[0127] 为了进一步说明本发明所述方案,以 ATmega128L 作为传感器节点的处理器,其工作电压为 2.5~5.5V,由于传感器节点在工作过程中不可避免的存在电压损耗,节点的供电电压应高于 2.7V,节点采用扩展 Standby 模式。仿真过程中使用的具体参数如表 1 所示:

[0128] 表 1 仿真试验参数

[0129]

参数	数值
工作电压/V	5
休眠电压/V	1.67
电池能量/J	5
发送数据电流/mA	17.5
接收数据电流/mA	12.2
空闲监听电流/mA	12.2
休眠电流/mA	0.13
比特率/Kbps	250
数据帧长度/bit	100
相邻节点间数据传输距离/m	50

[0130] 通过统计历史数据和查阅资料,可得知在美国洛杉矶各种天气状况发生的概率,其中:晴天发生的概率约为40%,阴天发生的概率约为44%,其它天气发生的概率约为16%。这里将其它天气统一归类为恶劣天气。

[0131] 图10为针对不同规模的分布式光伏发电系统监控网络(即监控网络中传感器节点数目不同),节点采用固定采样周期(1min)与采用基于光照强度和环境温度的动态采样周期,其监控网络运行一年的能耗情况。可以看出监控网络采用动态采样周期时,网络中节点的能耗明显低于采用固定采样周期时的监控网络,监控网络的运行寿命也会随之延长(如图11所示),且随着监控网络中节点数量的增多,采用动态采样周期的优势越来越明显。

[0132] 图12为针对不同规模的分布式光伏发电系统监控网络,传感器节点采用同步休眠/唤醒调度机制与采用最小深度休眠/唤醒调度机制的能耗对比情况。可以看出采用最小深度休眠/唤醒调度机制时,监控网络中节点的能耗明显降低,监控网络的运行寿命也会随之延长,且随着监控网络中节点数目的增多,其优势越来越明显。

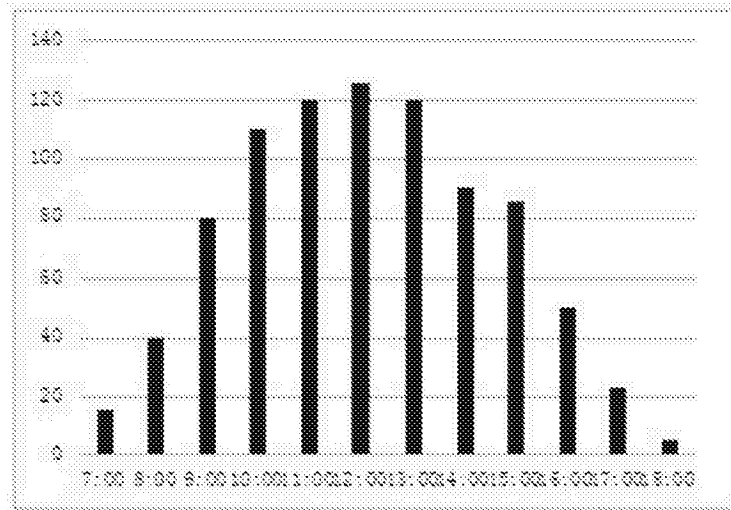


图1

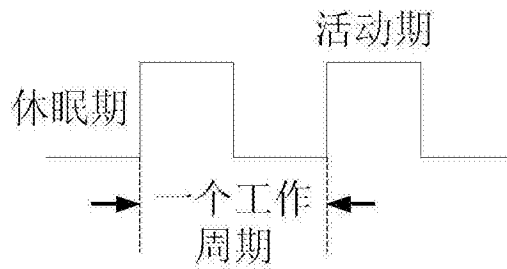
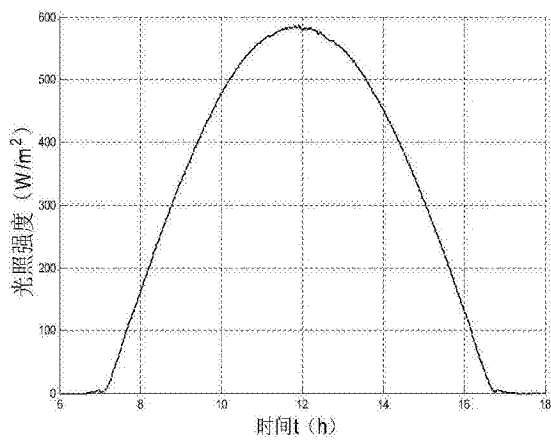
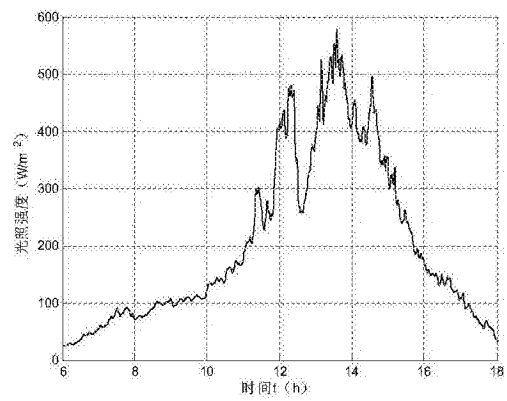


图2



(a)



(b)

图3

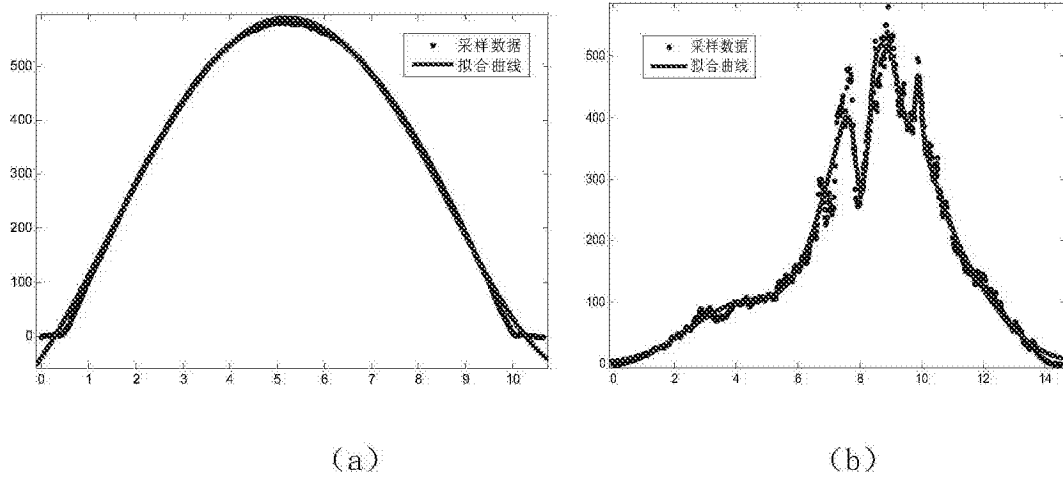


图4

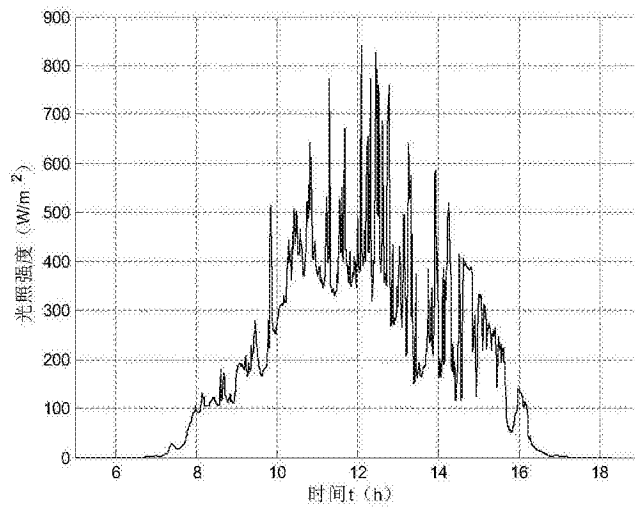
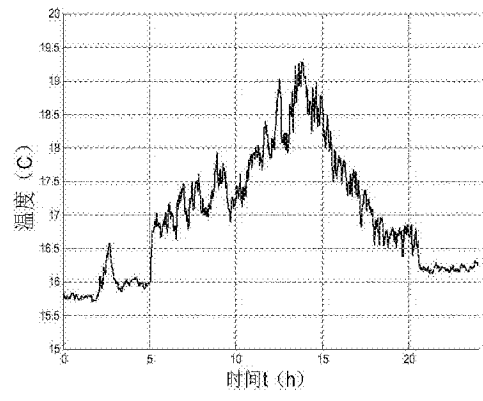
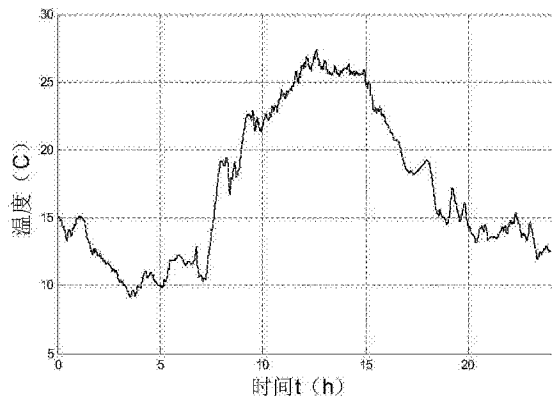


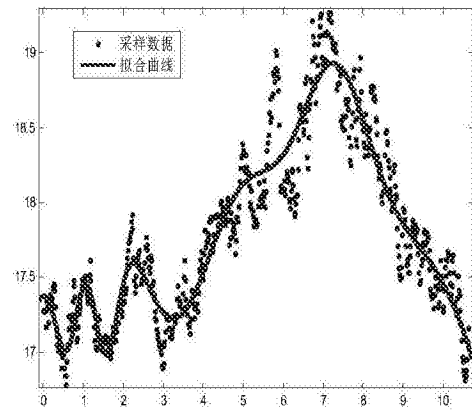
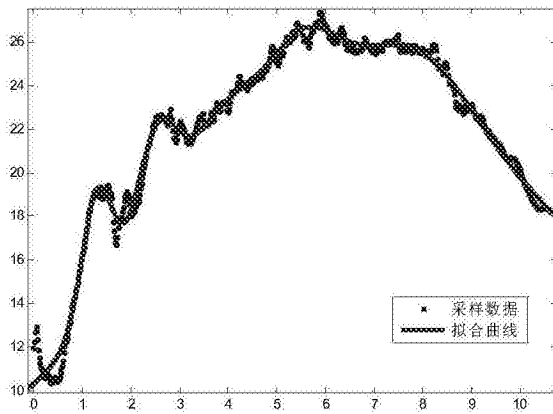
图5



(a)

(b)

图6



(a)

(b)

图7

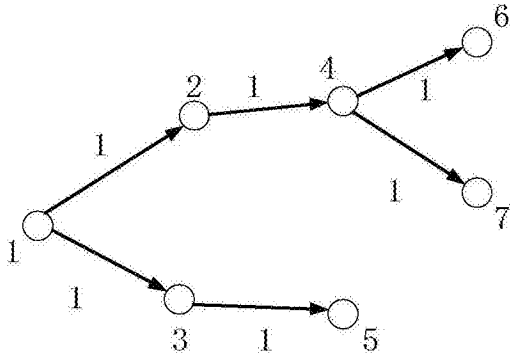


图8

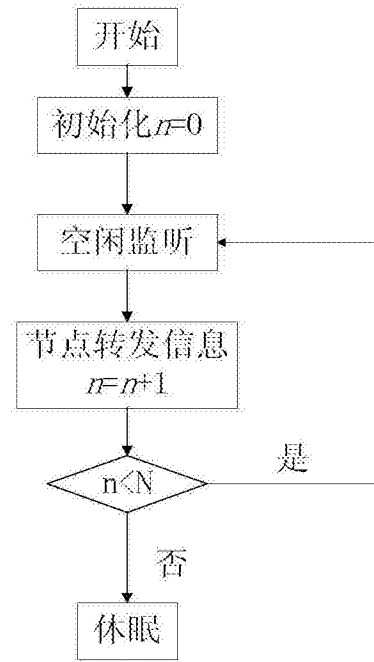


图9

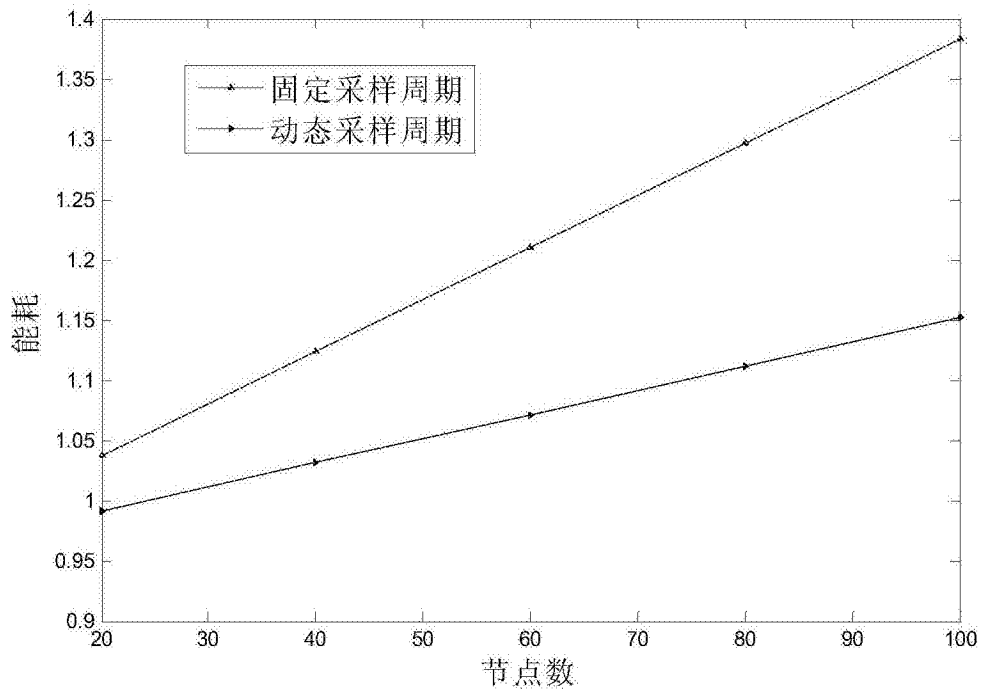


图10

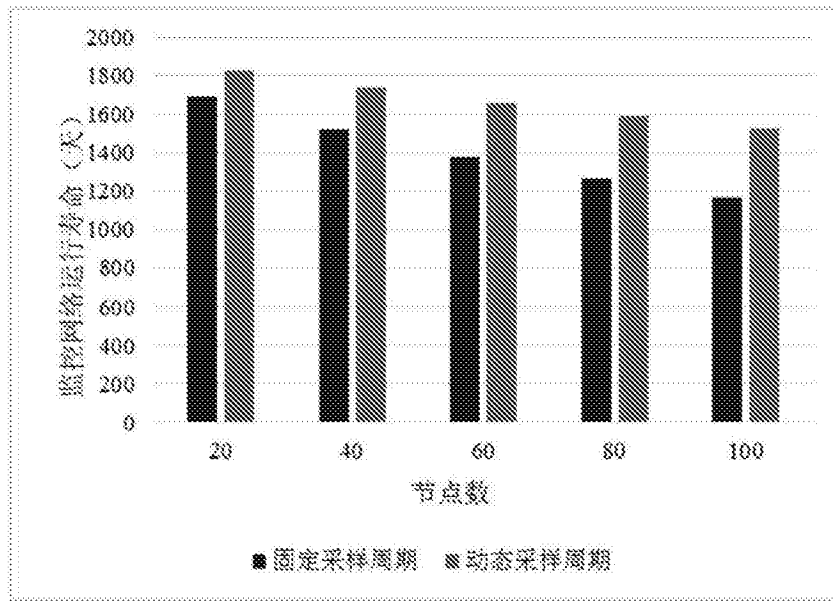


图11

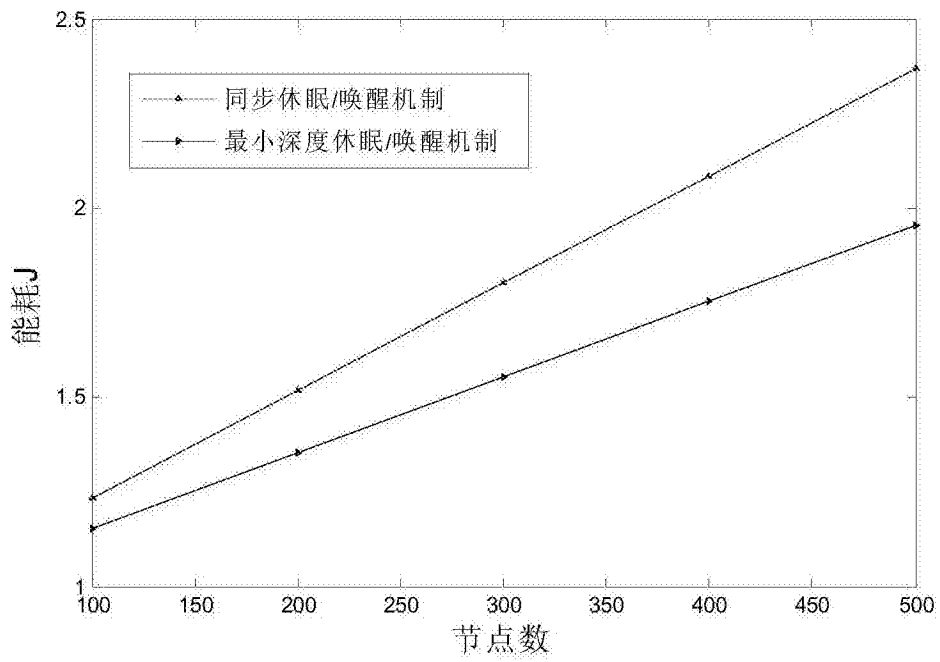


图12