



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104579798 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201510048253. 0

(22) 申请日 2015. 01. 29

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100761 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网安徽省电力公司池州供电公司

(72) 发明人 牛景平 杨友情 江龙才 宋敏  
步冬静

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有  
限责任公司 34101

代理人 陆丽莉 何梅生

(51) Int. Cl.

H04L 12/24(2006. 01)

H04L 12/26(2006. 01)

H02J 13/00(2006. 01)

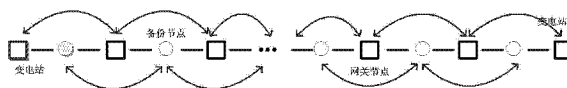
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种配用电力传输监控的 WSN 网关故障容忍模型及其工作机制

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型及其工作机制,其特征是组成包括 :n 个网关节点和 n-1 个备份节点 ;备份节点是设置在发送方网关节点  $G_1$  和第 2 个网关节点  $G_2$  之间、接收方网关节点  $G_n$  和第 n-1 个网关节点  $G_{n-1}$  之间,以及相邻两个网关节点之间,从而在配用电力传输线上形成交错排列的通讯网络结构。本发明能在网关节点发生故障时,对发生故障的网关节点进行容忍,从而保证数据的顺利传输。



1. 一种应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型,所述配用电力传输网是由发送方变电站经过配用电力传输线进行电力传输至接收方变电站而构成的配用电网;其特征是,

在所述配用电力传输网中的配用电力传输线上设置所述 WSN 网关故障容忍模型,所述 WSN 网关故障容忍模型的组成包括: $n$  个网关节点记为  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n\}$  和  $n-1$  个备份节点记为  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_{n-1}\}$ ;  $n \geq 2$ ;  $G_i$  表示第  $i$  个网关节点;  $B_j$  表示第  $j$  个备份节点;  $1 \leq i \leq n$ ;  $1 \leq j \leq n-1$ ;

在所述发送方变电站附近设置第 1 个网关节点  $G_1$  作为发送方网关节点;在所述接收方变电站附近设置第  $n$  个网关节点  $G_n$  作为接收方网关节点;

所述备份节点是设置在所述发送方网关节点  $G_1$  和第 2 个网关节点  $G_2$  之间、所述接收方网关节点  $G_n$  和第  $n-1$  个网关节点  $G_{n-1}$  之间,以及相邻两个网关节点之间,从而在所述配用电力传输线上形成交错排列的通讯网络结构;

所述第  $i$  个网关节点  $G_i$  包括无线传输模块  $T_i$  和数据采集模块  $R_i$ ;所述第  $j$  个备份节点  $B_j$  包括检测模块  $D_j$ 、数据备份模块  $P_j$  和无线传送模块  $Y_j$ 。

2. 一种权利要求 1 所述的应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型的工作机制,其特征是按如下步骤进行:

步骤 1、初始化  $i = 1$ ;令环境数据  $Data_0 = 0$ ;

步骤 2、在所述发送方变电站利用第  $i$  个网关节点  $G_i$  的数据采集模块  $R_i$  收集周围的环境数据  $Data_i$ ;并将第  $i-1$  个环境数据  $Data_{i-1}$  附着到自身的环境数据  $Data_i$  上,形成第  $i$  个附着数据  $\omega_i$ ;

步骤 3、所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用数据备份模块  $P_i$  对所述附着数据  $\omega_i$  进行备份;

步骤 4、所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用自身的检测模块  $D_i$  对第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  进行检测,判断第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  是否发生故障,若发生故障,则所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用无线传送模块  $Y_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个备份节点  $B_{i+1}$ ;并执行步骤 5;若没有发生故障,则所述第  $i$  个网关节点  $G_i$  利用无线传输模块  $T_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$ ;并执行步骤 6;

步骤 5、将  $i+1$  的值赋值给  $i$ ,执行步骤 4;

步骤 6、第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  接收第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$ ;并利用所述数据采集模块  $R_{i+1}$  收集自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$ ;并将自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$  附着到所接收到的第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$  上,从而形成第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  的附着数据  $\omega_{i+1}$ ;执行步骤 7、

步骤 7、将  $i+1$  的值赋给  $i$  后,判断  $i = n$  是否成立,若成立,则所述接收方变电站的接收方网关节点  $G_n$  接收附着数据  $\omega_i$ ,从而完成所述发送方变电站和接收方变电站之间的环境数据传输;否则执行步骤 3。

## 一种配用电力传输监控的 WSN 网关故障容忍模型及其工作机制

### 技术领域

[0001] 本发明涉及配用电力环境数据监测领域；具体地说是一种配用电力传输监控的 WSN 网关故障容忍模型及工作机制。

### 背景技术

[0002] 目前电力配网监控中所使用的人工巡检方法不仅耗时、费力且效率低下；因此，有研究者提出了使用 WSN 对电力环境进行检测并实现了原型系统。但由于塔杆损毁等事件，安装在塔杆上的 WSN 网关依然面临着故障的危险。另一方面，由于电力系统设计中的 N-1 原则，不得不考虑在 WSN 网关中故障容忍问题。因此，构建一个有效的具有故障容忍的 WSN 网关故障容忍模型是十分必要的。

[0003] 现有技术中，公开号为 CN 102387514A 的发明专利公开了一种 WSN 网关的备份方法，专利对主 WSN 在发生故障的情况下，利用备份 WSN 网关接替主 WSN 网关进行工作的机制进行了管理。但主 WSN 网关节点对所有备份管理的 WSN 节点的状态、节点信息、以及接替策略都需要进行不断实时的更新和维护。由于 WSN 网络拓扑结构复杂，大量的信息更新和维护造成 WSN 网关节点的能耗严重损耗，从而影响了该方法的实际应用效果。

[0004] 公开号为 CN 102196465A 的专利公开了一种 WSN 网关配置信息备份方法，但是，WSN 网关所管理的传感器网络节点众多，对所有被管节点配置信息进行实时备份显然会造成数据冗余，而且有限能耗下备份和更新数据庞大，从而影响实际使用效果。

### 发明内容

[0005] 本发明为克服上述现有技术存在的不足之处，提供了一种适应于配用电力传输监控的 WSN 网关故障容忍模型及其工作机制，以期能在网关节点发生故障时，对发生故障的网关节点进行容忍，从而保证数据的顺利传输。

[0006] 本发明采用的技术方案如下：

[0007] 本发明一种应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型，所述配用电力传输网是由发送方变电站经过配用电力传输线进行电力传输至接收方变电站而构成的配用电网；其特点是，

[0008] 在所述配用电力传输网中的配用电力传输线上设置所述 WSN 网关故障容忍模型，所述 WSN 网关故障容忍模型的组成包括： $n$  个网关节点记为  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n\}$  和  $n-1$  个备份节点记为  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_{n-1}\}$ ； $n \geq 2$ ； $G_i$  表示第  $i$  个网关节点； $B_j$  表示第  $j$  个备份节点； $1 \leq i \leq n$ ； $1 \leq j \leq n-1$ ；

[0009] 在所述发送方变电站附近设置第 1 个网关节点  $G_1$  作为发送方网关节点；在所述接收方变电站附近设置第  $n$  个网关节点  $G_n$  作为接收方网关节点；

[0010] 所述备份节点是设置在所述发送方网关节点  $G_1$  和第 2 个网关节点  $G_2$  之间、所述接收方网关节点  $G_n$  和第  $n-1$  个网关节点  $G_{n-1}$  之间，以及相邻两个网关节点之间，从而在所述配

用电力传输线上形成交错排列的通讯网络结构；

[0011] 所述第  $i$  个网关节点  $G_i$  包括无线传输模块  $T_i$  和数据采集模块  $R_i$ ；所述第  $j$  个备份节点  $B_j$  包括检测模块  $D_j$ 、数据备份模块  $P_j$  和无线传送模块  $Y_j$ 。

[0012] 本发明一种应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型的工作机制，其特点是按如下步骤进行：

[0013] 步骤 1、初始化  $i = 1$ ；令环境数据  $Data_0 = 0$ ；

[0014] 步骤 2、在所述发送方变电站利用第  $i$  个网关节点  $G_i$  的数据采集模块  $R_i$  收集周围的环境数据  $Data_i$ ；并将第  $i-1$  个环境数据  $Data_{i-1}$  附着到自身的环境数据  $Data_i$  上，形成第  $i$  个附着数据  $\omega_i$ ；

[0015] 步骤 3、所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用数据备份模块  $P_i$  对所述附着数据  $\omega_i$  进行备份；

[0016] 步骤 4、所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用自身的检测模块  $D_i$  对第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  进行检测，判断第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  是否发生故障，若发生故障，则所述第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用无线传送模块  $Y_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个备份节点  $B_{i+1}$ ；并执行步骤 5；若没有发生故障，则所述第  $i$  个网关节点  $G_i$  利用无线传输模块  $T_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$ ；并执行步骤 6；

[0017] 步骤 5、将  $i+1$  的值赋值给  $i$ ，执行步骤 4；

[0018] 步骤 6、第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  接收第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$ ；并利用所述数据采集模块  $R_{i+1}$  收集自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$ ；并将自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$  附着到所接收到的第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$  上，从而形成第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  的附着数据  $\omega_{i+1}$ ；执行步骤 7、

[0019] 步骤 7、将  $i+1$  的值赋给  $i$  后，判断  $i = n$  是否成立，若成立，则所述接收方变电站的接收方网关节点  $G_n$  接收附着数据  $\omega_i$ ，从而完成所述发送方变电站和接收方变电站之间的环境数据传输；否则执行步骤 3。

[0020] 与已有技术相比，本发明的有益效果体现在：

[0021] 1、本发明利用无线传感器网络对部署于野外的电力配电环境不断进行监测并通过网关将监测数据进行收集和传送到变电站，从而克服了在实际配用电传输监控网络中，传统的利用人工巡检配用架空电力线耗时、费力和低效的缺点，在提高监测效率的同时降低了维护成本。

[0022] 2、本发明利用 WSN 网络收集和传输配用电环境监测数据。由于变电站之间电力传输线基本呈现线性结构的特点，导致 WSN 网关拓扑也呈现出线性拓扑的特征，与传统的 WSN 网关数据备份方法相比，线性拓扑大大简化了网络的复杂性。

[0023] 3、本发明需要在传输过程中对 WSN 网关数据进行备份，备份节点只需对传输方向反方向上的 WSN 网关节点数据进行备份。与传统的 WSN 网关数据对所有传感器节点配置信息相比，备份数据类型单一，数据量较小，从而节省了能耗，减少了数据冗余和数据量。

[0024] 4、当 WSN 网络中的网关节点发生故障时或当电杆或者电塔损毁时，模型的备份节点可以通过监测模块监测到损毁节点，并通过自身传输模块以“绕过”损毁的电杆或者电塔的方式进行数据中继传输，从而达到对损毁的网关节点的故障容忍，构成具有故障容忍特征的传输模型，形成“坚强”的通信网络，有效延长网络的生命周期。

## 附图说明

- [0025] 图 1 为本发明 WSN 网关故障容忍模型示意图；  
[0026] 图 2 为本发明网关节点和备份节点组成模块示意图；  
[0027] 图 3 为本发明故障容忍的网关模型工作机制流程图；  
[0028] 图 4 为本发明模型的平均连接度和平均粘聚度随着节点增多变化示意图；  
[0029] 图 5 为本发明生存因子随着节点增多变化示意图。

## 具体实施方式

[0030] 本实施例中，配用电力传输网是由发送方变电站经过配用电力传输线进行电力传输至接收方变电站而构成的配用电网，变电站之间往往通过位于户外，相距不远的电线杆或者电线塔上搭载的电力传输线相互连接组成配用电传输网。该模型工作机制在符合变电站间实际的线性拓扑的基础上，充分挖掘拓扑冗余和备份机制，形成两者相互补充的工作机制。该机制的形成对容忍发生故障的网关节点具有重要的意义。

[0031] 为了监控和收集配用电力传输线的环境数据，如图 1 所示，在配用电力传输网中的配用电力传输线上设置 WSN 网关故障容忍模型，WSN 网关故障容忍模型的组成包括： $n$  个网关节点记为  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n\}$ ，网关节点安装在电杆或者电塔上，用来收集散落在电杆或者电塔周边的无线传感器所监测到的数据，以及  $n-1$  个备份节点记为  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_{n-1}\}$ ； $n \geq 2$ ，备份节点用来实时的备份传输过程中的网关数据； $G_i$  表示第  $i$  个网关节点； $B_j$  表示第  $j$  个备份节点； $1 \leq i \leq n$ ； $1 \leq j \leq n-1$ ；备份节点的安装位置一般位于两个电杆或者电塔中间。假如备份节点的位置不在中间而靠近某一电杆或者远离某一电塔，那么发送数据的电杆和电塔上的网关节点的能耗将会导致不均匀，由于无法预测网关节点的相对能耗，那么会对更换电池的频率和周期造成困难。

[0032] 在发送方变电站附近，具体实施中，是在变电站墙外 20 米范围内的电杆或者电塔上，设置第 1 个网关节点  $G_1$  作为发送方网关节点；在接收方变电站附近，具体实施中，在接收方变电站墙外 20 米范围内的电杆或者电塔上，设置第  $n$  个网关节点  $G_n$  作为接收方网关节点；

[0033] 备份节点是设置在发送方网关节点  $G_1$  和第 2 个网关节点  $G_2$  之间、接收方网关节点  $G_n$  和第  $n-1$  个网关节点  $G_{n-1}$  之间，以及相邻两个网关节点之间，从而在配用电力传输线上形成了如图 1 所示的由网关节点和备份节点在位置上交错排列的通讯网络结构，在本实例中，由于高压线塔杆支架的距离从 400-800m，我们将配电网塔杆支架的距离最大设为 400 米，备份节点到相邻网关节点之间不超过 200 米；采取了 WiFi 技术，且监控的完成通常是在户外偏远的没有障碍物的空旷地带进行的。

[0034] 如图 2 所示，第  $i$  个网关节点  $G_i$  包括无线传输模块  $T_i$  和数据采集模块  $R_i$ ，无线传输模块在相邻的网关节点之间传输数据，数据采集模块负责收集散落在电杆或者电塔周边的传感器数据；第  $j$  个备份节点  $B_j$  包括检测模块  $D_j$ ，数据备份模块  $P_j$  和无线传送模块  $Y_j$ 。监测模块实现监测数据传输方向上相邻网关节点的健康状态、数据备份模块的功能是备份传输方向相反方向上的网关节点数据。

[0035] 如图 3 所示，一种应用于配用电力传输网的 WSN 网关故障容忍模型的工作机制是

按如下步骤进行：

[0036] 步骤 1、初始化  $i = 1$ ；令环境数据  $Data_0 = 0$ ；此时，由于并无网关数据往初始网关节点上发送数据，所以设置初始网关的环境数据为零；并且，一般地，数据总是由一个变电站通过逐跳传输的方式传输到另一个变电站，这么做的好处是可以周期性的不断将监测和监控数据实时的传输到目的变电站的计算机上。将源站定义为发送方变电站，目的站定义为接收方变电站。

[0037] 步骤 2、在发送方变电站利用第  $i$  个网关节点  $G_i$  的数据采集模块  $R_i$  收集周围的环境数据  $Data_i$ ；数据采集模块通过无线的方式，采集散布在网关节点周围的传感器数据，具体实施中，传感器散布于网关节点安装杆周边 5 米内。并将第  $i-1$  个环境数据  $Data_{i-1}$  附着到自身的环境数据  $Data_i$  上，形成第  $i$  个附着数据  $\omega_i$ ；在环境数据后以附着的方式形成附着数据的好处是可以线性的时间复杂度在计算机上辨识异常的监测数据，从而快速的定位有问题的电杆，实现实时监控。本实施例中，环境数据设为周边温度数据；具体实施中，环境数据可以进行灵活设置，例如，可以设置为电力线的“垂度”等。

[0038] 步骤 3、第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用数据备份模块  $P_i$  对附着数据  $\omega_i$  进行备份；在形成附着数据后，备份节点开始对网关节点进行数据备份，以保证所备份的数据是包含了相关的网关节点的环境数据。

[0039] 步骤 4、第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用自身的检测模块  $D_i$  对第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  进行检测，其中监测模块中设置故障标识位  $FaultFlag$ ，判断第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  是否发生故障，若发生故障，将相应的故障标识位  $FaultFlag$  置 1，则第  $i$  个备份节点  $B_i$  利用无线传送模块  $Y_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个备份节点  $B_{i+1}$ ，这种传送数据方式“绕过”了所发生故障的网关节点，并成功的备份数据传输到相邻的下一个备份节点上；并执行步骤 5；若没有发生故障，将相应的故障标识位  $FaultFlag$  置 0，则第  $i$  个网关节点  $G_i$  利用无线传输模块  $T_i$  将附着数据  $\omega_i$  发送至第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$ ；并执行步骤 6；

[0040] 步骤 5、将  $i+1$  的值赋值给  $i$ ，执行步骤 4；由于并不需要刻意清除备份节点所备份的数据，则备份节点的备份数据在下次数据传播中自动被覆盖，以达到节能的目的。

[0041] 步骤 6、第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  接收第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$ ；并利用数据采集模块  $R_{i+1}$  收集自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$ ；并将自身周围的环境数据  $Data_{i+1}$  附着到所接收到的第  $i$  个网关节点  $G_i$  发送的附着数据  $\omega_i$  上，从而形成第  $i+1$  个网关节点  $G_{i+1}$  的附着数据  $\omega_{i+1}$ ；执行步骤 7、

[0042] 步骤 7、将  $i+1$  的值赋给  $i$  后，判断  $i = n$  是否成立，若成立，则接收方变电站的接收方网关节点  $G_n$  接收附着数据  $\omega_i$ ，由于该附着数据包含接收方变电站的环境数据，并且该数据不需要传输到下一个网关节点，从而完成发送方变电站和接收方变电站之间的环境数据传输；否则执行步骤 3。正常的设置网关传感器的平均寿命为 12 个月，且平均 60 个月更换一次设备。在本实例中，设置所提出的模型的节点数为 11 个。

[0043] 为了评价本发明的性能和效果，首先介绍了两组表达式来粗略得评估不同的故障容忍能力，即平均连接度和平均粘聚度。大体上，平均连接度和平均粘聚度反映了当故障发

生时，网络的脆弱性。平均连接度由公式：
$$CH = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n CH_{ij}}{n(n-1)}$$
 来计算。其中  $n$  为节点的个数，

其中平均粘聚度： $\overline{CN} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n CN_{ij}}{n(n-1)}$  来计算。

[0044] 如图 4 所示, 平均连接度和平均粘聚度在网络模型中随着网络节点的增多而减少, 这意味着备份方法对监控电力传输网络的故障容忍是个有效方法。

[0045] 另外, 设置生存因子参数, 参数  $r_{ij}$  是不直连节点  $(i, j)$  对的间的生存因子, 令  $k$  是独立节点对之间的独立路径数目, 而  $m_l$  是位于节点  $i$  和节点  $j$  的独立路径  $p_l (1 \leq l \leq k)$  那么:

[0046] 生存因子：
$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & i = j \\ \sum_{l=1}^k \prod_{p=1}^{m_l} \frac{1}{n-p-l+2} & i \neq j \end{cases}$$

[0047] 整个图的脆弱性：
$$Iv(G) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}$$

[0048] 令  $i = 1$ , 则可以得到任何从源节点到损毁节点之间的生存因子。由于在备份节点和网关节点之间的距离大约是相邻两个网关节点距离的一半, 因此设 CH 权重为 1, 那么自然的弧是 0.5 的权重。如果切断相邻的两个网关节点的最小权重为 1, 那么 CN 为 0.7, 由于两个相邻的备份节点并不比两个相邻的网关节点更加可靠。为了更能突显所提模型的优点, 在图 5 中将网络的节点数目增加到 50 个。

[0049] 如图 5 所示, 生存因子显示了随着网络节点的增多, 生存因子逐步递减。特别的, 网络模型随着节点的增多仍然具有一定的生存性。由于该模型组合了拓扑冗余和备份机制, 网络模型更适合远离城镇和居民区的偏远地区。

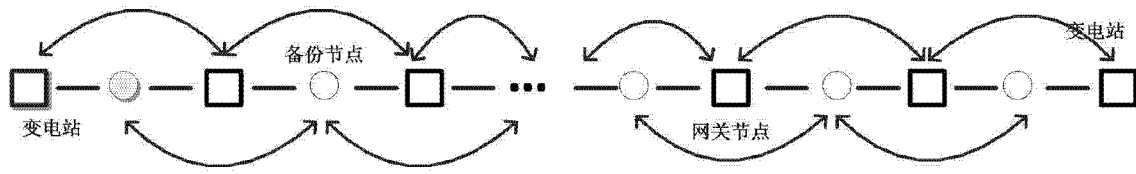


图 1

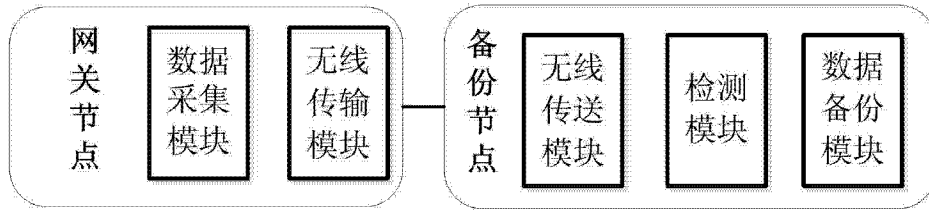


图 2



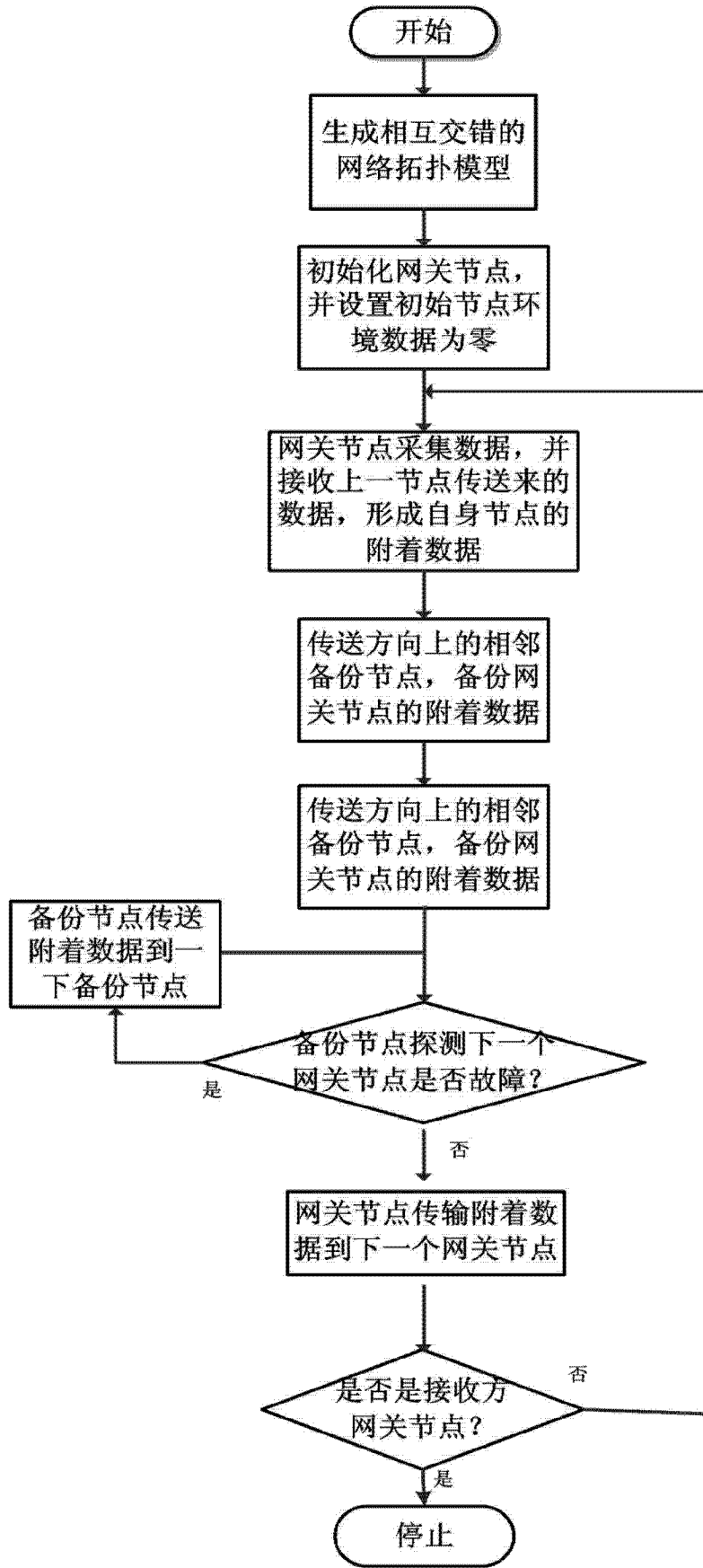


图 3

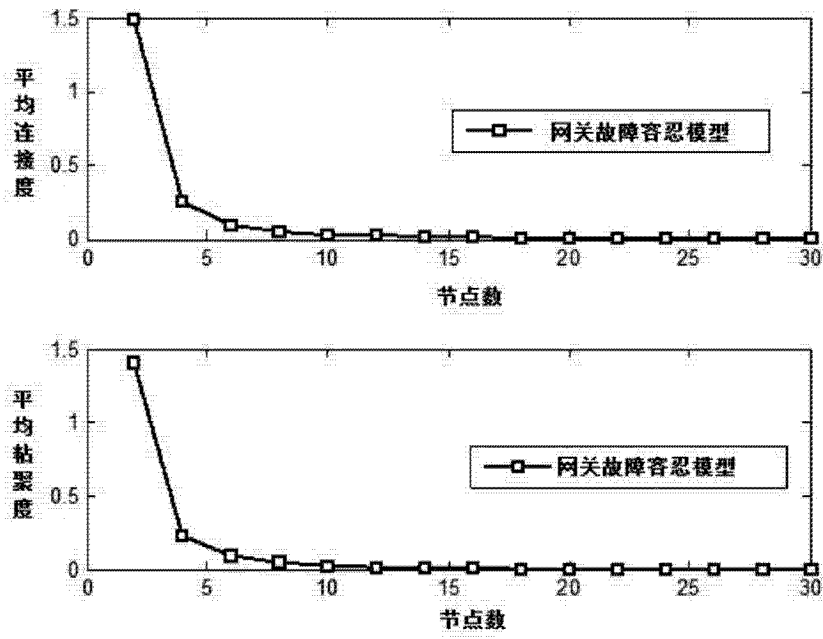


图 4

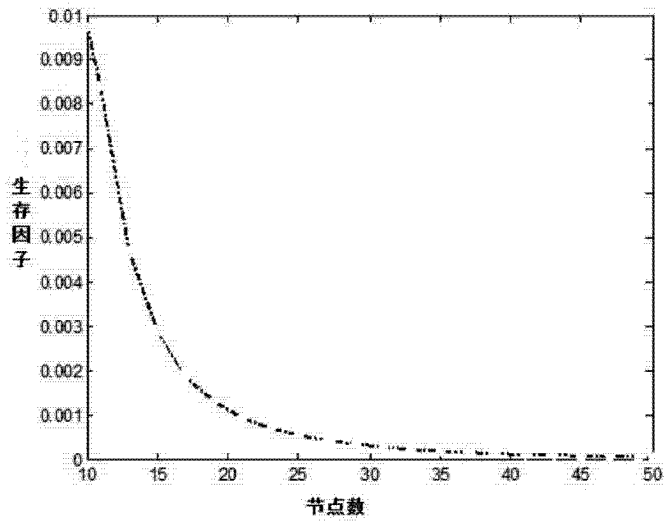


图 5