



(21) 申请号 202411029065.9

(22) 申请日 2024.07.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 118574150 A

(43) 申请公布日 2024.08.30

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72) 发明人 杜星葵 刘春生 束妮娜 杨方
吴韬 王怀习 常超 吴一尘
刘俊 张翼飞

(74) 专利代理机构 北京丰浩知识产权代理事务
所(普通合伙) 11781
专利代理师 李学康

(51) Int.Cl.

H04W 24/06 (2009.01)

H04W 24/02 (2009.01)

H04W 84/18 (2009.01)

(56) 对比文件

CN 116390112 A, 2023.07.04

US 2016212729 A1, 2016.07.21

审查员 袁鸣骁

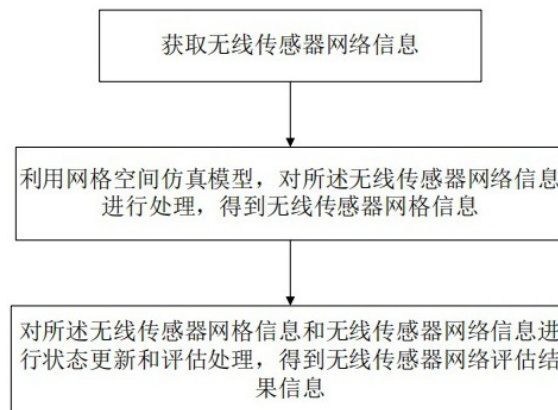
权利要求书4页 说明书12页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,所述方法包括:获取无线传感器网络信息;利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络信息;对所述无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行状态更新和评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息;所述无线传感器网络评估结果信息,用于表征无线传感器网络的抗毁性能。本发明通过构建无线传感器网络模型,实现动态条件下网络模拟运行、故障情景模拟、性能测试等功能,从而实现对网络抗毁性的准确快速评估,为无线网络任务规划奠定基础。



1. 一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,其特征在于,包括:

S1,获取无线传感器网络信息;所述无线传感器网络信息,包括无线传感器网络的网络分布范围、节点位置信息、节点连接信息、节点状态信息、节点类型信息;所述无线传感器网络,包括无线传感器节点;所述节点连接信息,包括与每个节点连接的相邻节点的信息;所述节点类型信息,包括边缘节点和汇聚节点;所述汇聚节点,用于接收边缘节点的数据;所述节点状态信息,包括正常运行和失效;

S2,利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网格信息;

S3,对所述无线传感器网格信息和无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络评估结果信息;所述无线传感器网络评估结果信息,用于表征无线传感器网络的抗毁性能;

所述利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网格信息,包括:

S21,对所述网络分布范围进行规则网格划分,得到若干个单元格;所述单元格,包括单元格范围信息和网络节点信息;所述网络节点信息,包括单元格范围内所包含的无线传感器节点的类型信息和节点状态信息;

S22,根据每个单元格范围信息和网络节点位置信息,确定每个单元格的网络节点信息;

S23,根据每个单元格的网络节点信息,确定所述单元格的状态值;

S24,根据每个单元格在所述网络分布范围中的相邻单元格的状态值之和,确定所述单元格的相邻状态值;

S25,根据每个单元格的状态值和相邻状态值,确定所述单元格的转移函数;

S26,利用所有单元格的状态值、相邻状态值和转移函数,构建得到无线传感器网格信息。

2. 如权利要求1所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,其特征在于,所述对所述无线传感器网格信息和无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括:

S31,获取所述无线传感器网络的攻击信息;利用所述攻击信息,对所述无线传感器网格信息进行更新;

S32,利用故障模型对所述无线传感器网格信息进行处理,得到初始化的单元格的故障概率和能量值;

S33,对所述无线传感器网络信息和所述无线传感器网格信息进行汇聚连接判别处理,得到汇聚节点集合和更新的无线传感器网格信息;

S34,对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网格信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网格信息;

S35,对所述第一无线传感器网格信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息;

所述汇聚连接判别处理,包括:

利用无线传感器网络中的所有汇聚节点,构建得到汇聚节点集合;

根据无线传感器网络信息中的节点连接信息,确定所有与汇聚节点相连接的边缘节点和所有不与汇聚节点相连接的边缘节点;

将所有与汇聚节点相连接的边缘节点,加入到汇聚节点集合中;将所有与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为2;将所有不与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为1。

3.如权利要求2所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,其特征在于,所述对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网络信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网络信息,包括:

S341,对所述汇聚节点集合中的所有节点进行编号处理,得到所有节点的序号值;设置当前序号值为1;

S342,获取所述汇聚节点集合中的当前序号值对应的节点;

S343,随机生成第一判别值;所述第一判别值的取值范围为(0,1);

S344,判断所述节点对应单元格的故障概率是否大于第一判别值,若不大于所述第一判别值,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新;

S345,判断所述节点的能量值是否小于等于0,若所述节点的能量值小于等于0,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新;

S346,利用单元格的状态值,对无线传感器网络信息进行更新;

S347,利用故障模型对所述无线传感器网络信息进行处理,得到单元格的故障概率的更新值和能量值的更新值;

S348,使当前序号值增加1,判断当前序号值是否大于所述汇聚节点集合中的节点总数,得到第一判别结果;若所述第一判别结果,为不大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S342;若所述第一判别结果,为大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S349;

S349,对更新后的无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行汇聚连接判别处理,确认得到的无线传感器网络信息,为第一无线传感器网络信息。

4.如权利要求3所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,其特征在于,所述对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括:

对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行生存率计算处理,得到生存率指标;

对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络覆盖率计算处理,得到网络覆盖率;

对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络效率计算处理,得到网络效率值;

对所述生存率指标、网络覆盖率和网络效率值进行组合处理,得到无线传感器网络评估结果信息。

5.如权利要求4所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,其特征在于,所述生存率计算的表达式为:

$$R(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} (S_{(i,j)}^t | S_{(i,j)}^t = 2)}{2|Z|},$$

其中, $|Z|$ 为无线传感器网络中的节点总数, $R(t)$ 表示 t 时刻的生存率指标, $\sum_{(i,j) \in Z} (S_{(i,j)}^t | S_{(i,j)}^t = 2)$ 表示第一无线传感器网络信息中状态值为 2 的单元格的数目, $S_{(i,j)}^t$ 表示节点位置信息为 (i, j) 的节点对应单元格的状态值, Z 表示无线传感器网络信息; 所述网络覆盖率计算的表达式为:

$$C(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} b_{(i,j)}^t}{n^2},$$

其中, $b_{(i,j)}^t$ 表示节点位置信息为 (i, j) 的节点的状态判别值, 当节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点对应的单元格的状态值之和, 等于节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点的数目时, $b_{(i,j)}^t = 0$; 当节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点对应的单元格的状态值之和, 大于节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点的数目时, $b_{(i,j)}^t = 1$; $\sum_{(i,j) \in Z} b_{(i,j)}^t$ 表示所有单元格的状态值之和, n 表示无线传感器网络的网络分布范围的边长;

所述网络效率计算的表达式为:

$$H(t) = \frac{1}{|Z|} \sum_{(i,j) \in Z_n^t} \frac{1}{D_{(i,j)}^t},$$

其中, Z_n^t 代表在时刻 t 正常工作的节点集合, $D_{(i,j)}^t$ 代表节点位置信息为 (i, j) 的节点在 t 时刻到其相邻的汇聚节点的跳数。

6. 如权利要求 5 所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法, 其特征在于, 所述故障模型, 包括能量值计算子模型和故障概率计算子模型;

所述能量值计算子模型, 用于根据节点发送的消息量, 计算得到节点的能量值;

所述故障概率计算子模型, 用于计算得到节点的故障概率。

7. 如权利要求 6 所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法, 其特征在于, 所述能量值计算子模型的计算表达式为:

$$E(t) = E_0(t) - E_T(l),$$

$$E_T(l) = l \times (E_{elec} + \varepsilon_{amp} d^2),$$

其中, $E(t)$ 为在 t 时刻计算得到节点的能量值, $E_0(t)$ 为 t 时刻节点的初始能量值, $E_T(l)$ 为 t 时刻所述节点向距离 d 外的节点发送大小为 l bit 的消息所消耗的能量, E_{elec} 是节点发送 1 bit 数据所需要消耗的能量, ε_{amp} 是传输损耗的系数;

所述故障概率计算子模型的计算表达式为：

$$P_M(i, j) = e^{-\lambda k_{(i,j)}},$$

其中, $P_M(i, j)$ 表示节点位置信息为 (i, j) 的节点的故障概率, $k_{(i,j)}$ 是所述节点的相邻节点的数量, λ 是故障系数。

一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机仿真领域,具体涉及一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着传感器技术、无线通信技术和微处理器技术的日益成熟,以及相关的硬件成本和计算成本的下降,采用大量集成拥有收集信息、处理数据和无线通信能力的传感器节点,来监视指定领域的无线传感器网络广泛投入使用,逐渐成为了实现物联网应用的重要底层网络。在实际应用中,由于无线传感器网络具有规模较大、资源有限、随机部署、自组织等特点,且其内部因素如拓扑结构、传输路径等动态变化,导致其实际工作的网络运行状态、生命周期较难预测,也同样会导致其收集数据的可靠性、可用性等抗毁性指标难以评估。现有的无线传感器网络模型存在对网络度分布、网络边权、节点通信半径、地理空间位置约束、能量失效、组件故障、网络抗毁性、存在网络假设失效情形无法覆盖真实网络特征等因素建模不准确,无法真实表征无线传感器网络在实际情况下的抗毁性性能。

[0003] 因此,综合考虑了网络度分布、网络边权影响、节点通信半径对网络能耗的影响、地理空间位置约束、存在网络假设失效情形无法覆盖真实网络特征、能量失效、组件故障、网络抗毁性等因素情况下,构建一种可行且有效的抗毁性评估方法和装置,对研究无线传感器网络的运行机制和实际应用具有重要的理论和实际价值。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题在于,提供一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法及装置,综合考虑网络度分布、网络边权影响、节点通信半径对网络能耗的影响、地理空间位置约束、存在网络假设失效情形无法覆盖真实网络特征、能量失效、组件故障、网络抗毁性等因素情况下,提高抗毁性评估准确率。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明实施例第一方面公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,包括:

[0006] S1,获取无线传感器网络信息;所述无线传感器网络信息,包括无线传感器网络的网络分布范围、节点位置信息、节点连接信息、节点状态信息、节点类型信息;所述无线传感器网络,包括无线传感器节点;所述节点连接信息,包括与每个节点连接的相邻节点的信息;所述节点类型信息,包括边缘节点和汇聚节点;所述汇聚节点,用于接收边缘节点的数据;所述节点状态信息,包括正常运行和失效;

[0007] S2,利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络信息;

[0008] S3,对所述无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络评估结果信息;所述无线传感器网络评估结果信息,用于表征无线传感器网络的抗毁性能。

[0009] 所述利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网格信息,包括:

[0010] S21,对所述网络分布范围进行规则网格划分,得到若干个单元格;所述单元格,包括单元格范围信息和网络节点信息;所述网络节点信息,包括单元格范围内所包含的无线传感器节点的类型信息和节点状态信息;

[0011] S22,根据每个单元格范围信息和网络节点位置信息,确定每个单元格的网络节点信息;

[0012] S23,根据每个单元格的网络节点信息,确定所述单元格的状态值;

[0013] S24,根据每个单元格在所述网络分布范围中的相邻单元格的状态值之和,确定所述单元格的相邻状态值;

[0014] S25,根据每个单元格的状态值和相邻状态值,确定所述单元格的转移函数;

[0015] S26,利用所有单元格的状态值、相邻状态值和转移函数,构建得到无线传感器网格信息。

[0016] 所述对所述无线传感器网格信息和无线传感器网络信息进行状态更新和评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括:

[0017] S31,获取所述无线传感器网络的攻击信息;利用所述攻击信息,对所述无线传感器网格信息进行更新;

[0018] S32,利用故障模型对所述无线传感器网格信息进行处理,得到初始化的单元格的故障概率和能量值;

[0019] S33,对所述无线传感器网络信息和所述无线传感器网格信息进行汇聚连接判别处理,得到汇聚节点集合和更新的无线传感器网格信息;

[0020] S34,对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网格信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网格信息;

[0021] S35,对所述第一无线传感器网格信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息。

[0022] 所述汇聚连接判别处理,包括:

[0023] 利用无线传感器网络中的所有汇聚节点,构建得到汇聚节点集合;

[0024] 根据无线传感器网络信息中的节点连接信息,确定所有与汇聚节点相连接的边缘节点和所有不与汇聚节点相连接的边缘节点;

[0025] 将所有与汇聚节点相连接的边缘节点,加入到汇聚节点集合中;将所有与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为2;将所有不与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为1。

[0026] 所述对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网格信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网格信息,包括:

[0027] S341,对所述汇聚节点集合中的所有节点进行编号处理,得到所有节点的序号值;设置当前序号值为1;

[0028] S342,获取所述汇聚节点集合中的当前序号值对应的节点;

[0029] S343,随机生成第一判别值;所述第一判别值的取值范围为(0,1);

[0030] S344,判断所述节点对应单元格的故障概率是否大于第一判别值,若不大于所述

第一判别值,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新;

[0031] S345,判断所述节点的能量值是否小于等于0,若所述节点的能量值小于等于0,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新;

[0032] S346,利用单元格的状态值,对无线传感器网络信息进行更新;

[0033] S347,利用故障模型对所述无线传感器网络信息进行处理,得到单元格的故障概率的更新值和能量值的更新值;

[0034] S348,使当前序号值增加1,判断当前序号值是否大于所述汇聚节点集合中的节点总数,得到第一判别结果;若所述第一判别结果,为不大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S342;若所述第一判别结果,为大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S349;

[0035] S349,对更新后的无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行汇聚连接判别处理,确认得到的无线传感器网络信息,为第一无线传感器网络信息。

[0036] 所述对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括:

[0037] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行生存率计算处理,得到生存率指标;

[0038] 所述生存率计算的表达式为:

$$[0039] \quad R(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} (S'_{(i,j)} | S'_{(i,j)} = 2)}{2|Z|},$$

[0040] 其中, $|Z|$ 为无线传感器网络中的节点总数, $R(t)$ 表示t时刻的生存率指标,

$\sum_{(i,j) \in Z} (S'_{(i,j)} | S'_{(i,j)} = 2)$ 表示第一无线传感器网络信息中状态值为2的单元格的数目,

$S'_{(i,j)}$ 表示节点位置信息为(i, j)的节点对应单元格的状态值, Z 表示无线传感器网络信息;

[0041] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络覆盖率计算处理,得到网络覆盖率;

[0042] 所述网络覆盖率计算的表达式为:

$$[0043] \quad C(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} b'_{(i,j)}}{n^2},$$

[0044] 其中, $b'_{(i,j)}$ 表示节点位置信息为(i, j)的节点的状态判别值,当节点位置信息为

(i, j)的节点的所有相连节点对应的单元格的状态值之和,等于节点位置信息为(i, j)的节点的所有相连节点的数目时, $b'_{(i,j)} = 0$;当节点位置信息为(i, j)的节点的所有相连节点对

应的单元格的状态值之和,大于节点位置信息为(i, j)的节点的所有相连节点的数目时,

$b'_{(i,j)} = 1$; $\sum_{(i,j) \in Z} b'_{(i,j)}$ 表示所有单元格的状态值之和, n表示无线传感器网络的网络分布

范围的边长;

[0045] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络效率计算处理,得到网络效率值;

[0046] 所述网络效率计算的表达式为:

$$[0047] \quad H(t) = \frac{1}{|Z|} \sum_{(i,j) \in Z_n^t} \frac{1}{D_{(i,j)}^t},$$

[0048] 其中, Z_n^t 代表在时刻 t 正常工作的节点集合, $D_{(i,j)}^t$ 代表节点位置信息为 (i, j) 的节点在 t 时刻到其相邻的汇聚节点的跳数;

[0049] 对所述生存率指标、网络覆盖率和网络效率值进行组合处理,得到无线传感器网络评估结果信息。

[0050] 所述故障模型,包括能量值计算子模型和故障概率计算子模型;

[0051] 所述能量值计算子模型,用于根据节点发送的消息量,计算得到节点的能量值;所述能量值计算子模型的计算表达式为:

$$[0052] \quad E(t) = E_0(t) - E_T(l),$$

$$[0053] \quad E_T(l) = l \times (E_{elec} + \varepsilon_{amp} d^2),$$

[0054] 其中, $E(t)$ 为在 t 时刻计算得到节点的能量值, $E_0(t)$ 为 t 时刻节点的初始能量值, $E_T(l)$ 为 t 时刻所述节点向距离 d 外的节点发送大小为 l bit 的消息所消耗的能量, E_{elec} 是节点发送 l bit 数据所需要消耗的能量, ε_{amp} 是传输损耗的系数;

[0055] 所述故障概率计算子模型,用于计算得到节点的故障概率;

[0056] 所述故障概率计算子模型的计算表达式为:

$$[0057] \quad P_M(i, j) = e^{-\lambda k_{(i,j)}},$$

[0058] 其中, $P_M(i, j)$ 表示节点位置信息为 (i, j) 的节点的故障概率, $k_{(i,j)}$ 是所述节点的相邻节点的数量, λ 是故障系数。

[0059] 本发明实施例第二方面,公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真装置,所述装置包括:

[0060] 存储有可执行程序代码的存储器;

[0061] 与所述存储器耦合的处理器;

[0062] 所述处理器调用所述存储器中存储的所述可执行程序代码,执行所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0063] 本发明实施例第三方面,公开了一种计算机可存储介质,所述计算机可存储介质存储有计算机指令,所述计算机指令被调用时,用于执行所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0064] 本发明实施例第四方面,一种信息数据处理终端,所述信息数据处理终端用于实现所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0065] 本发明的有益效果为:

[0066] 1、本发明通过构建无线传感器网络模型,实现动态条件下网络模拟运行、故障情景模拟、性能测试等功能,从而实现对网络抗毁性的准确快速评估,为无线网络任务规划奠定基础。

[0067] 2、本发明方法针对无线传感器网络运行情景,用单元格模拟无线传感器网络中众多的节点,各节点由自身及其邻居节点的状态信息,即可更新下一个时间片段的状态。同时将能量耗尽、软硬件故障、连通性失效和遭受恶意攻击等故障情形引入并进行运行设计,并在该模型中引入生存率、网络覆盖率和网络效率三种抗毁性度量指标,因此该方法能有效计算真实场景下无线传感器网络的运行状态并分析其网络性能变化,进而达到通过网络运行结果指导真实场景无线传感器网络部署或维护以提高抗毁性、延长网络寿命的有益效果。

附图说明

[0068] 图1为本发明方法的实施流程图。

具体实施方式

[0069] 为了更好的了解本发明内容,这里给出两个实施例。图1为本发明方法的实施流程图。

[0070] 实施例一

[0071] 本发明公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,基于计算机来实现,包括:

[0072] S1,获取无线传感器网络信息;所述无线传感器网络信息,包括无线传感器网络的网络分布范围、节点位置信息、节点连接信息、节点状态信息、节点类型信息;所述无线传感器网络,包括无线传感器节点;所述节点连接信息,包括与每个节点连接的相邻节点的信息;所述节点类型信息,包括边缘节点和汇聚节点;所述汇聚节点,用于接收边缘节点的数据;所述节点状态信息,包括正常运行和失效;

[0073] S2,利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网格信息;所述元胞自动机,基于所述网格空间仿真模型来实现;

[0074] S3,对所述无线传感器网格信息进行状态更新和评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息;所述无线传感器网络评估结果信息,用于表征无线传感器网络的抗毁性能。

[0075] 所述利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网格信息,包括:

[0076] S21,对所述网络分布范围进行规则网格划分,得到若干个单元格;所述单元格,包括单元格范围信息和网络节点信息;所述网络节点信息,包括单元格范围内所包含的无线传感器节点的类型信息和节点状态信息;

[0077] S22,根据每个单元格范围信息和网络节点位置信息,确定每个单元格的网络节点信息;

[0078] S23,根据任一单元格的网络节点信息,确定该单元格的状态值;

[0079] S24,根据任一单元格在所述网络分布范围中的相邻单元格的状态值之和,确定该单元格的相邻状态值;

- [0080] S25,根据任一单元格的状态值和相邻状态值,确定该单元格的转移函数;
- [0081] S26,利用任一单元格的状态值、相邻状态值和转移函数,构建得到无线传感器网络信息。
- [0082] 所述根据任一单元格的网络节点信息,确定该单元格的状态值,包括:
- [0083] 考虑了4种节点的部署状态:未部署节点、部署节点且正常工作、部署节点已失效、部署汇聚节点;
- [0084] 在对无线传感器网络节点的中,每个单元格的状态值具有四种取值,表示为 $S = \{0,1,2,3\}$ 。
- [0085] “0”表示在该单元格中没有部署任何节点;
- [0086] “1”表示在该单元格中部署了传感器节点,但该传感器节点已失效;
- [0087] “2”表示在该单元格中部署了边缘传感器,并且该传感器节点能够正常运行;
- [0088] “3”表示在该单元格中部署了汇聚节点,其它节点产生的消息最终都要传递到汇聚节点处。
- [0089] 所述转移函数,可用马尔科夫函数来表征。
- [0090] 所述对所述无线传感器网络信息进行状态更新和评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括:
- [0091] S31,获取所述无线传感器网络的攻击信息;利用所述攻击信息,对所述无线传感器网络信息进行更新;
- [0092] S32,利用故障模型对所述无线传感器网络信息进行处理,得到初始化的单元格的故障概率和能量值;
- [0093] S33,对所述无线传感器网络信息和所述无线传感器网络信息进行汇聚连接判别处理,得到汇聚节点集合和更新的无线传感器网络信息;
- [0094] S34,对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网络信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网络信息;
- [0095] S35,对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息。
- [0096] 所述S31,包括:
- [0097] 获取所述无线传感器网络中受到攻击的无线传感器节点;确定所述无线传感器节点所在的单元格;将受到攻击的无线传感器节点的所述单元格的状态值,修改为1。
- [0098] 所述汇聚连接判别处理,包括:
- [0099] 利用无线传感器网络中的所有汇聚节点,构建得到汇聚节点集合;
- [0100] 根据无线传感器网络信息中的节点连接信息,确定所有与汇聚节点相连接的边缘节点和所有不与汇聚节点相连接的边缘节点;
- [0101] 将所有与汇聚节点相连接的边缘节点,加入到汇聚节点集合中;将所有与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为2;将所有不与汇聚节点相连接的边缘节点对应单元格的状态值设置为1。
- [0102] 所述对所述汇聚节点集合、所述单元格的故障概率和能量值、S33得到的无线传感器网络信息,进行状态更新处理,得到第一无线传感器网络信息,包括:
- [0103] S341,对所述汇聚节点集合中的所有节点进行编号处理,得到所有节点的序号值;

设置当前序号值为1；

[0104] S342,获取所述汇聚节点集合中的当前序号值对应的节点；

[0105] S343,随机生成第一判别值；所述第一判别值的取值范围为(0,1)；

[0106] S344,判断所述节点对应单元格的故障概率是否大于第一判别值,若不大于所述第一判别值,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新；

[0107] S345,判断所述节点的能量值是否小于等于0,若所述节点的能量值小于等于0,设置所述节点对应单元格的状态值为1,设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接,对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新；

[0108] S346,利用单元格的状态值,对无线传感器网络信息进行更新；

[0109] S347,利用故障模型对所述无线传感器网络信息进行处理,得到单元格的故障概率和能量值的更新值；

[0110] S348,使当前序号值增加1,判断当前序号值是否大于所述汇聚节点集合中的节点总数,得到第一判别结果；若所述第一判别结果,为不大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S342；若所述第一判别结果,为大于所述汇聚节点集合中的节点总数,执行S349；

[0111] S349,对更新后的无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行汇聚连接判别处理,确认得到的无线传感器网络信息,为第一无线传感器网络信息。

[0112] 所述对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息,包括：

[0113] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行生存率计算处理,得到生存率指标；

[0114] 所述生存率计算的表达式为：

$$[0115] \quad R(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} (S'_{(i,j)} | S'_{(i,j)} = 2)}{2|Z|},$$

[0116] 其中, $|Z|$ 为无线传感器网络中的节点总数, $R(t)$ 表示t时刻的生存率指标,

$\sum_{(i,j) \in Z} (S'_{(i,j)} | S'_{(i,j)} = 2)$ 表示第一无线传感器网络信息中状态值为2的单元格的数目,

$S'_{(i,j)}$ 表示节点位置信息为(i, j)的节点对应单元格的状态值, Z 表示无线传感器网络信息；

[0117] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络覆盖率计算处理,得到网络覆盖率；

[0118] 所述网络覆盖率计算的表达式为：

$$[0119] \quad C(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in Z} b'_{(i,j)}}{n^2},$$

[0120] 其中, $b'_{(i,j)}$ 表示节点位置信息为(i, j)的节点的状态判别值,当节点位置信息为(i, j)的节点的所有相连节点对应的单元格的状态值之和,等于节点位置信息为(i, j)的节

点的所有相连节点的数目时, $b_{(i,j)}^t = 0$; 当节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点对应的单元格的状态值之和, 大于节点位置信息为 (i, j) 的节点的所有相连节点的数目时, $b_{(i,j)}^t = 1$; $\sum_{(i,j) \in Z} b_{(i,j)}^t$ 表示所有单元格的状态值之和, n 表示无线传感器网络的网络分布范围的边长;

[0121] 对所述第一无线传感器网络信息和无线传感器网络信息进行网络效率计算处理, 得到网络效率值;

[0122] 所述网络效率计算的表达式为:

$$[0123] \quad H(t) = \frac{1}{|Z|} \sum_{(i,j) \in Z_n^t} \frac{1}{D_{(i,j)}^t},$$

[0124] 其中, Z_n^t 代表在时刻 t 正常运行的节点集合, $D_{(i,j)}^t$ 代表节点位置信息为 (i, j) 的节点在 t 时刻到其相邻的汇聚节点的跳数;

[0125] 对所述生存率指标、网络覆盖率和网络效率值进行组合处理, 得到无线传感器网络评估结果信息。

[0126] 所述故障模型, 包括能量值计算子模型和故障概率计算子模型;

[0127] 所述能量值计算子模型, 用于根据节点发送的消息量, 计算得到节点的能量值; 所述能量值计算子模型的计算表达式为:

$$[0128] \quad E(t) = E_0(t) - E_T(l),$$

$$[0129] \quad E_T(l) = l \times (E_{elec} + \varepsilon_{amp} d^2),$$

[0130] 其中, $E(t)$ 为在 t 时刻计算得到节点的能量值, $E_0(t)$ 为 t 时刻节点的初始能量值, $E_T(l)$ 为 t 时刻所述节点向距离 d 外的节点发送大小为 l bit 的消息所消耗的能量, E_{elec} 是节点发送 1 bit 数据所需要消耗的能量, ε_{amp} 是传输损耗的系数。

[0131] 所述故障概率计算子模型, 用于计算得到节点的故障概率;

[0132] 所述故障概率计算子模型的计算表达式为:

$$[0133] \quad P_M(i, j) = e^{-\lambda k_{(i,j)}},$$

[0134] 其中, $P_M(i, j)$ 表示节点位置信息为 (i, j) 的节点的故障概率, $k_{(i,j)}$ 是所述节点的相邻节点的数量, λ 是故障系数。

[0135] 本发明实施例第二方面, 公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真装置, 所述装置包括:

[0136] 存储有可执行程序代码的存储器;

[0137] 与所述存储器耦合的处理器;

[0138] 所述处理器调用所述存储器中存储的所述可执行程序代码, 执行所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0139] 本发明实施例第三方面,公开了一种计算机可存储介质,所述计算机可存储介质存储有计算机指令,所述计算机指令被调用时,用于执行所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0140] 本发明实施例第四方面,一种信息数据处理终端,所述信息数据处理终端用于实现所述的基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法。

[0141] 实施例二

[0142] 本发明公开了一种基于元胞自动机的无线传感器网络仿真方法,包括:

[0143] S1,获取无线传感器网络信息;所述无线传感器网络信息,包括无线传感器网络的网络分布范围、节点位置信息、节点连接信息、节点状态信息、节点类型信息;所述无线传感器网络,包括无线传感器节点;所述节点连接信息,包括与每个节点连接的相邻节点的信息;所述节点类型信息,包括边缘节点和汇聚节点;所述汇聚节点,用于接收边缘节点的数据;所述节点状态信息,包括正常运行和失效;

[0144] S2,利用网格空间仿真模型,对所述无线传感器网络信息进行处理,得到无线传感器网络信息;

[0145] S3,对所述无线传感器网络信息进行状态更新和评估处理,得到无线传感器网络评估结果信息;所述无线传感器网络评估结果信息,用于表征无线传感器网络的抗毁性能。

[0146] 本发明中的无线传感器网络信息和无线传感器网络信息的参数设置,包括: L 是由单元格组成的规则网格空间, $n \times n$ 是网格空间大小, S 是单元拥有的有限状态集, f 是遵循的转换函数, $S'_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 在 t 时刻的状态, $N'_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 的相邻单元集, $M'_{(i,j)}$ 是与单元格 (i,j) 相邻的单元格在 t 时刻的状态之和, $G'_{(i,j)}$ 是在 t 时刻与单元格 (i,j) 相邻的单元格的数目, $E'_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 在 t 时刻的能量, $U'_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 在 t 时刻的效用值, $D'_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 在 t 时刻到汇聚节点的跳数, α, β 是路由协议的权重, $P_M(i,j)$ 是单元格 (i,j) 的故障概率, $k_{(i,j)}$ 是单元格 (i,j) 的度, q_a 是攻击比例。

[0147] 具体解释如下:

[0148] L 代表一个 $n \times n$ 的网格空间,组成网格空间的每一个元素称为单元格。网格空间边界是封闭的,因此边界处的单元格比其他区域中的单元格具有更少的邻居单元格。

[0149] S 代表一个单元格具有的状态集合,单元格的状态是有限的,在对无线传感器网络节点的模拟中,每个单元格具有四种状态。 $S = \{0,1,2,3\}$ 。

[0150] “0”表示在该单元格中没有部署任何节点;

[0151] “1”表示在该单元格中部署了传感器节点,但该传感器节点已失效;

[0152] “2”表示在该单元格中部署了传感器节点,并且该传感器节点能够正常运行;

[0153] “3”表示在该单元格中部署了汇聚节点,其它节点产生的消息最终都要传递到汇聚节点处。

[0154] N 用来表示一个单元格拥有的相邻单元的有限集合,在对无线传感器网络节点的模型构建中,采用摩尔邻域结构,每个单元格可以拥有不超过八个节点作为相邻的单元。

[0155] 相邻单元的集合可被定义为:

$$[0156] \quad N_{(i,j)} = \{(m,n) \in L \mid |m-i| \leq 1, |m-j| \leq 1, (m,n) \neq (i,j)\}.$$

[0157] 假设在 t 时刻, 单元格 (i,j) 的状态表示为 $S_{(i,j)}^t$, 那么这个单元格邻居单元节点集

$$[0157] \quad \text{合的状态之和可以被表示为 } M_{(i,j)}^t = \sum_{(m,n) \in N_{(i,j)}} S_{(m,n)}^t.$$

[0158] 同时也能得到在 t 时刻单元格 (i,j) 周围邻居节点的数量。

[0159] f 表示单元格状态变化所遵循的转换函数, 在此项建模工作中, 设定该单元格的状态受它的相邻单元格状态的影响。在一个时间点 t 时刻, 单元格 (i,j) 的状态转移函数可定义为

$$[0160] \quad S_{(i,j)}^t = f(S_{(i,j)}^{t-1}, M_{(i,j)}^t, G_{(i,j)}^t),$$

[0161] 在实际的无线传感器网络中, 一个传感器节点需要满足两个条件才能正常工作。第一个条件是它的功能组件可以正常工作, 也即, 它既没有出现故障或受到攻击, 能量也没有耗尽。第二个条件是它可以维持至少一条有效路径到汇聚节点。根据这两个条件, 可以得到更为具体与精确的转换函数。所述转换函数, 可用马尔科夫链函数来表示。

[0162] 在真实场景应用的无线传感器网络中, 传感器节点的失效与故障来源多样, 可能因外部恶意攻击导致, 也可能是因自身能量耗尽或软/硬件故障引起, 或者是自身并未直接故障, 但由于和汇聚节点之间的连接断开导致的连通性失效。值得注意的是, 在无线传感器网络中, 节点的故障过程并非不可逆转, 如果汇聚节点是移动性的, 一些连通性失效的节点可能会重新与汇聚节点建立联系。在本部分, 对能量耗尽失效故障、软/硬件故障和连通性失效故障进行建模, 得到故障模型。所述故障模型, 包括能量耗尽故障模型、硬件/软件故障模型、连通性失效故障模型。

[0163] 能量耗尽故障为因节点能量耗尽所造成的节点失效情形。本发明对无线传感器网络的模拟中, 汇聚节点被认为不受能量的限制, 即认为其有无限的能量。其它所有传感器节点均具有有限的能量, 设定所有传感器节点的初始能量都相同为 E_0 。当在 t 时刻的剩余能量不足以支持传感器节点的正常运行时, 设定这个传感器节点因为能量耗尽发生故障。在每个时间间隔内, 传感器节点均会消耗一定能量维护自身功能, 除正常能耗外, 重点考虑传递能耗。使用一阶无线电模型来模拟传感器节点能量消耗的过程, 在此模型中, 传感器节点向距离 d 外的传感器节点发送大小为 l bit 的消息, 传感器节点将消耗 $E_T(l)$ 的能量。计算公式为: $E_T(l) = l \times (E_{elec} + \epsilon_{amp} d^2)$, 其中, E_{elec} 是节点发送 l bit 数据所需要消耗的能量, ϵ_{amp} 是传输损耗的系数, 这里采用自由空间信道模型对传输损耗的具体值进行计算。而传感器节点接收大小为 l bit 的消息, 传感器节点将消耗 $E_R(l)$ 能量。计算方法为: $E_R(l) = l \times E_{elec}$ 。

[0164] 在计算传感器节点能量消耗 $E_T(l)$ 之前, 首先要进行无线传感器节点的数据传输的判别。首先计算得到每个无线传感器节点的效用值, 数据传输发生在低效用值节点向高

效用值节点的传输过程中。对相邻节点之间的低效用值节点向高效用值节点的传输过程，计算发送数据节点的能量消耗值，再计算得到其能量值。传感器节点对于数据的转发活动，本发明设计特定的选择路由协议来支持运行。在该协议中，每个传感器节点均被赋予一个效用值，消息将从低效用值得节点被发送到高效用值得节点。每个传感器节点的效用值取决于其剩余能量和它到汇聚节点的最小跳距这两个因素。因为随着时间改变，网络中每个传感器节的剩余能量以及它到汇聚节点的最小跳距都在改变，因此效用值也在变化。效用值

具体的计算方法为： $U_{(i,j)}^t = \alpha \frac{E_{(i,j)}^t}{E_0} + \beta \frac{1}{D_{(i,j)}^t}$ 。其中 $U_{(i,j)}^t$ 是指节点 (i, j) 在 t 时刻的效用

值， $D_{(i,j)}^t$ 是节点 (i, j) 在 t 时刻的最小跳距，即该节点到距离其最近的汇聚节点的最小跳数，

$E_{(i,j)}^t$ 表示能量 (i, j) 表示坐标)； α 和 β 是调整路由性能的加权系数，应满足条件 $\alpha + \beta = 1$ 显

而易见，传感器节点的效用值在 $[0, 1]$ 之间。应该注意的是，当传感器节点发生故障时，其效用将设置为 0。此外，为了确保数据最终到达汇聚节点，所有汇聚节点的效用值都设置为 1，确保在网络中汇聚节点效用值最高。

[0165] 对于硬件/软件故障模型，在实际场景中，传感器节点之间的负载差异非常明显。“中央”节点上的负载远高于其他节点，这使得这些中央节点更可能由于缓冲区溢出和其他原因而失败，同时“边缘”节点又多处于自然条件恶劣的环境中，发生故障的概率不同。将硬件/软件故障建模为 $P_M(i, j) = e^{-\lambda k_{(i,j)}}$ ，这里 $P_M(i, j)$ 是传感器节点 (i, j) 在每一次时间步进（仿真时间戳）中发生软硬件故障的概率； $k_{(i,j)}$ 是传感器节点 (i, j) 的度，即其相邻单元格空间中的传感器节点和汇聚节点的数量。 λ 是故障系数。在本发明中，设置 $\lambda = 5$ 。

[0166] 对于连通性失效故障模型，在无线传感器网络中，当一些传感器节点发生故障时，网络中其它节点的连通可能会受到影响。在此过程中，一些传感器节点可能被隔离，因为它们到汇聚节点的路径被切断，因此它们的消息最终无法发送到汇聚节点。在此仿真模型中，隔离故障可以被认为是由于相邻单元格空间中缺少正常工作的节点而导致的故障。如果传感器节点位于单元 (i, j) 不能满足 $M_{(i,j)}^{t-1} = G_{(i,j)}^{t-1}$ 和 $S_{(i,j)}^{t-1} = 2$ 这两个条件，便认为该节点成为了网络中连通性失效的“孤岛”，判断其连通性值为 0；如果满足上述两个条件，判别其连通性值为 1；在 S347 和 S32 中，还包括对节点连通性值的更新和计算。

[0167] 在进行 S344 之后，进行 S345 之前，还包括对节点的连通性值进行判别，判断所述节点的连通性值是否等于 0，若所述节点的连通性值等于 0，设置所述节点对应单元格的状态值为 1，设置所述节点与相邻的汇集节点为不连接，对所述无线传感器网络信息中的节点连接信息进行更新；

[0168] 所述获取所述无线传感器网络的攻击信息；利用所述攻击信息，对所述无线传感器网络信息进行更新，包括：

[0169] 为了全面综合地评估分析无线传感器网络遭受不同类型攻击时的抗毁性，在运行建模中设计了三种攻击策略，分别是随机攻击、最大度攻击、最大介数攻击。在模型中，所有攻击均考虑为同步攻击，也就是说在同一时刻完成对目标节点的攻击。在模型中，攻击的对

象不考虑汇聚节点,因为汇聚节点一旦失效,整个网络便立即瓦解,没有对比分析的价值。

[0170] 随机攻击是指攻击者随机选择一些节点进行攻击,在随机攻击策略下,随机选择攻击比例 q_a 的传感器节点,并将攻击后的节点状态设置为1。

[0171] 最大度攻击是指攻击者将攻击目标选择为在网络中拥有最大度中心性的节点,即直接连接的节点数量最多的节点。这种攻击方式的目标是破坏网络的完整性和稳定性。在最大程度攻击策略下,首先计算所有节点的度,进行降序排序,并攻击比例 q_a 个度值大的节点,将其状态设置为1。

[0172] 最大介数攻击是指攻击者将攻击目标选择为介数中心性最高的节点。介数中心性指的是网络中该节点作为中介的频率。这种攻击方式的目标是破坏网络的连通性,因为介数中心性节点在网络中扮演着重要的中介角色,在最大介值攻击策略下,首先计算所有节点的介数,进行降序排序,攻击比例 q_a 介值大的节点,将其状态设置为1。与网络的一般介数值不同,在此攻击策略中使用了为无线传感器网络设计的定向介数值,在计算经过节点的最短路径数目时,这些路径的起点是任意的其它节点,但终点必须是汇聚节点。所述介数,可以利用节点的攻击成本的倒数计算得到。

[0173] 定向的介数值反映了传感器节点控制网络数据流的能力。从最短路径的角度来看,一个节点的介数值越大,说明该节点在网络中连接其他节点间的最短路径上出现的次数越多,这个节点在网络中向汇聚节点转发的信息越多,因此这个节点作为“枢纽”对于网络的效率有着巨大的影响。

[0174] 在无线传感器网络中,攻击不同节点的成本取决于该节点的位置、功能、安全措施和易受攻击性等因素。边缘节点是位于网络边缘的节点,它们通常具有较低的安全性,因此易受攻击,攻击这些节点的成本相对较低。核心节点是在网络的中心区域连接整个网络的节点,它们的安全性和资源比较高,并且位置处于比较安全的区域中。攻击这些节点费用较高,需要具有相当的技术和资源。

[0175] 在本模型中,为简化考虑,在对传感器节点的攻击成本的差异性上依据距离汇聚节点的距离进行设定,以此区分出核心节点与非核心节点攻击成本。认为在距离汇聚节点跳距在一定范围以内的传感器节点为核心节点,它们在实际场景中部署在任务区域位置空间较为安全的地方,且配备一定的防护措施,因而对于攻击方而言,攻击其成本更高。而网络中靠近边缘的节点为非核心节点,因为资源有限、空间位置关系等原因,其安全性较弱,攻击其需要的成本较低。具体计算公式设计如下。每个节点的成本的计算公式 $cost(i, j) = \nu e^{-\mu d_{(i,j)}}$, 这里 μ , ν 均为成本系数, $d_{(i,j)}$ 是节点 (i, j) 到汇聚节点的最小跳数。

[0176] 以上所述仅为本申请的实施例而已,并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的权利要求范围之内。

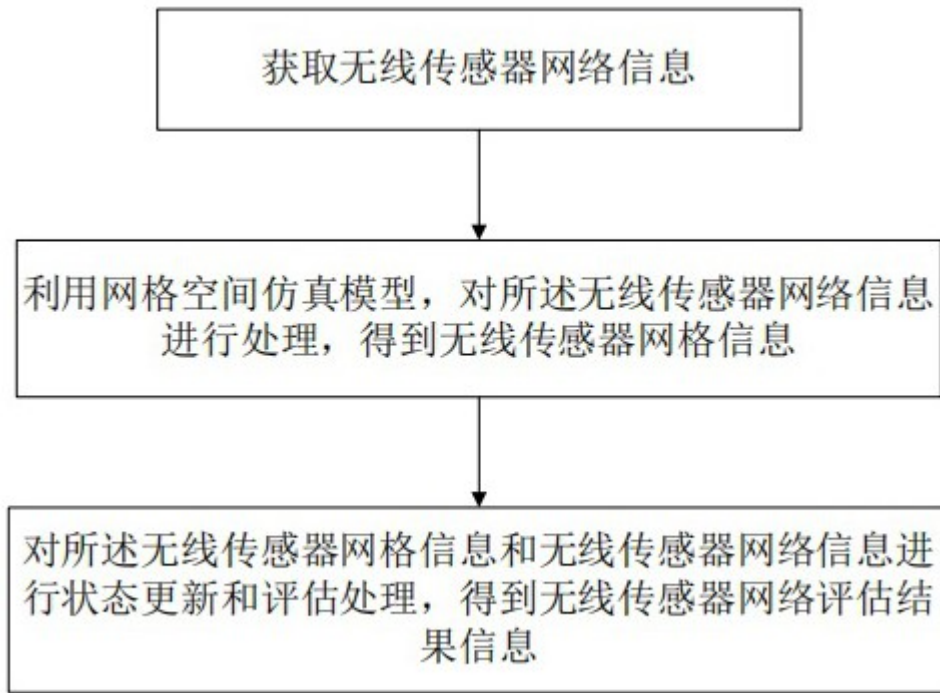


图1