



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108880871 B

(45) 授权公告日 2020. 10. 16

(21) 申请号 201810564521.8

H04W 84/18 (2009.01)

(22) 申请日 2018.06.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 101667925 A, 2010.03.10

申请公布号 CN 108880871 A

CN 102395146 A, 2012.03.28

(43) 申请公布日 2018.11.23

WO 2015140483 A1, 2015.09.24

(73) 专利权人 佛山科学技术学院

夏娜等. 基于维诺图 and 二分图的水面移动基
站路径规划方法.《自动化学报》.2016,

地址 528000 广东省佛山市南海区狮山镇

审查员 何花

仙溪水库西路佛山科学技术学院

(72) 发明人 焦波 石建迈 张文生 邢立宁

戎海武 何敏藩 于辉 王向东

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有

限公司 44205

代理人 王国标

(51) Int. Cl.

H04L 12/24 (2006.01)

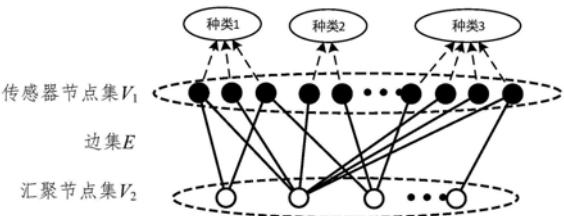
权利要求书5页 说明书19页 附图2页

(54) 发明名称

一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装
置

(57) 摘要

本发明公开了一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装置,采用二分图建模无线传感网的传感器节点集、汇聚节点集及它们之间的通信连接关系,并通过二分图采样技术,在保持重要拓扑属性稳定性和满足用户需要传感器节点种类及数量的条件下,实现无线传感器网拓扑中传感器节点及其通信链路资源的采样与分配,本发明可以依据用户需求的传感器节点种类与数量,在保持无线传感器网二分图拓扑结构属性稳定不变的条件下,为用户精确分配其需求的传感器节点数量及相应的数据通信链路资源。



1. 一种无线传感器网拓扑资源分配方法,其特征在于:该方法包括以下步骤:

步骤1,采用二分图 $G=(V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的拓扑结构,其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集;采用多对一映射关系 $\Psi: V_1 \rightarrow W=\{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性,即 $\Psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号;对 $\forall w \in W$,采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量;

步骤2,将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列,并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} ;

步骤3,计算节点集 $V_2^{LL}=V_2/V_2^{LH}$,并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,其中, $V_2^{LL}=V_2/V_2^{LH}$ 表示从节点集 V_2 删除节点子集 V_2^{LH} 中所有元素剩余节点的集合,边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为:

$$E^{LH}=\{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}, \quad E^{LL}=\{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\};$$

步骤4,获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度,设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度,设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$;

步骤5,计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$,其中, $f(d_k)$ 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率, $k=1, 2, \dots, s$, $|V_1|$ 表示节点集 V_1 包含的节点总数;

步骤6,获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

步骤7,获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$, $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率, $|V_2^{LL}|$ 表示节点集 V_2^{LL} 包含的节点总数;

步骤8,初始化二分图 $G'=(V_1', V_2', E') \leftarrow G=(V_1, V_2, E)$;

初始化二分图 $G^{LH'}=(V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$;

初始化二分图 $G^{LL'}=(V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,

初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

步骤9,初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$,其中参数 R_R 的计算公式为: $R_R = (|V_1| - \sum_{w \in W} L(w)) / |V_1|$;

步骤10,如果 $t < E_d$,转步骤11;否则,当前的 $G'=(V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果,其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$,转步骤19;

步骤11,如果 $\eta > 0 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$,则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$,计算两个边集:

$$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}, \quad E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}, \quad \text{其中, 集合 } \tilde{V}_1$$

$$\text{为: } \tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\Psi(v_1))\|}{L(\Psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}, \text{ 对 } \forall w \in W, \text{ 定义集合 } N'(w) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \Psi(v) = w\},$$

其表示采样子集 V_1' 中被分类至分类标号 w 的全部节点构成的集合,当节点 $v_1 \in V_1'$ 时,

集合 $N'(\Psi(v_1)) = \{v | v \in V_1' \wedge \Psi(v) = \Psi(v_1)\}$, 其中, $\Psi(v_1) \in W$, 并转步骤15; 否则, 转步骤12;

步骤12, 设集合 $S = \{v | v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $||S|| > 0$, 任意选择集合 S 中一个节点 v , 并获取该节点的度 d_v , 设 $d = d_v$, 转步骤14;

步骤13, 如果 $||S|| = 0$, 以离散概率分布 $p_k / \sum_{i=1,2,\dots,s} p_i$ 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k 被定义为: $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在步骤5被计算获得, $k=1, 2, \dots, s$, 转步骤14;

步骤14, 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| = 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta + 1$, 转步骤18; 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} | v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} | v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 转步骤15; 如果 $d > 1$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} | v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} | v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$, 转步骤15;

步骤15, 如果 $\|E_o^{LH}\| = 0$, 转步骤16; 如果 $\|E_o^{LL}\| = 0$, 转步骤17; 如果 $\|E_o^{LH}\| > 0 \wedge \|E_o^{LL}\| > 0$, 则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转步骤16, 并以概率 $1 - P^{LL'}$ 转步骤17, 其中 $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||)$, $\gamma^{LH'} = m^{LH} - (||E^{LH}|| - ||E^{LH'}||)$, $m^{LL} = \frac{E_d \cdot \|E^{LL}\|}{\|E^{LH} \cup E^{LL}\|} \cdot (1 + R)$, $m^{LH} = E_d - m^{LL}$, R 为

输入参数, R 的值为0.096;

步骤16, 计算集合 $D^h = \{d \in D | g'(d) - g(d) > (1/\|V_2^{LL'}\|)\}$, 其中

$D = \{d_u | u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$, 如果 $||D^h|| = 0$, 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}$, 其中, $\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示 $g'(d) - g(d)$ 取最大值时集合 D 中元素 d 的取值, 计算集合 E_o^{LL} 的一个子集: $E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} | d_u \in D^h\}$, 计算 $\Psi' = \arg \max_{\Psi(v)} \{||N'(\Psi(v))|| / L(\Psi(v))\}$, 其中, $\Psi' = \arg \max_{\Psi(v)} \{||N'(\Psi(v))|| / L(\Psi(v))\}$ 表示将 $||N'(\Psi(v))|| / L(\Psi(v))$ 取最大值时 $\Psi(v)$ 的取值赋值给 Ψ' , $\Psi(v) \in W$, $N'(\Psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \Psi(v_1) = \Psi(v)\}$, 且 $V = \{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$, 计算集合 E_a 的一个子集: $E_b = \{(v, u) \in E_a | \Psi(v) = \Psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率, 转步骤18;

步骤17, 计算 $\Psi' = \arg \max_{\Psi(v)} \{||N'(\Psi(v))|| / L(\Psi(v))\}$, 其中 $\Psi(v) \in W$, $N'(\Psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \Psi(v_1) = \Psi(v)\}$,

且 $V = \{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}$, 计算集合 E_o^{LH} 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH} | \Psi(v) = \Psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个

二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 转步骤18;

步骤18, 更新 $t \leftarrow t+1$, 并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 、 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$: 将节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为0的节点全部删除, 转步骤10;

步骤19, 依据输出的 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取 $G' = (V_1', V_2', E')$ 覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' , 并将 V_1' 、 V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

2. 根据权利要求1所述的一种无线传感器网拓扑资源分配方法, 其特征在于, 在步骤2中, 所述 n_h 要求满足以下条件: 在二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中, 节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T , 即 n_h 由输入参数 T 唯一确定。

3. 一种无线传感器网拓扑资源分配装置, 其特征在于, 所述装置包括:

第一单元, 采用二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的拓扑结构, 其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集; 采用多对一映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性, 即 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号; 对 $\forall w \in W$, 采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量;

第二单元, 将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列, 并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} , 参数 n_h 要求满足以下条件: 在二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中, 节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T , 即 n_h 由输入参数 T 唯一确定;

第三单元, 计算节点集 $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$, 并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$, 其中, 边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为:

$E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}$, $E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\}$, $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$ 表示从节点集 V_2 删除节点子集 V_2^{LH} 中所有元素剩余节点的集合;

第四单元, 获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度, 设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度, 设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$;

第五单元, 计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$, 其中 $f(d_k)$ 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率, $k=1, 2, \dots, s$, $|V_1|$ 表示节点集 V_1 包含的节点总数;

第六单元, 获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

第七单元, 获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率, $|V_2^{LL}|$ 表示节点集 V_2^{LL} 包含的节点总数;

第八单元, 初始化二分图 $G' = (V_1', V_2', E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

初始化二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$;

初始化二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,

初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

第九单元, 初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$, 并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| \cdot R_R$, 其中参数 R_R 的计算公式为: $R_R = (||V_1|| - \sum_{w \in W} L(w)) / ||V_1||$;

第十单元, 如果 $t < E_d$, 转第十一单元; 否则, 当前的 $G' = (V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果, 其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$, 转第十九单元;

第十一单元, 如果 $\eta > 0 \wedge ||\tilde{V}_1|| > 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$, 计算两个边集:

$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 其中, 集合 $\tilde{V}_1$ 为: $\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{||N'(\psi(v_1))||}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$, 其中, 对 $\forall w \in W$, 定义集合 $N'(w) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$, 其表示采样子集 V_1' 中被分类至分类标号 w 的全部节点构成的集合; 当节点 $v_1 \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v_1)) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 其中 $\psi(v_1) \in W$, 并转第十五单元; 否则, 转第十二单元;

第十二单元, 设集合 $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $||S|| > 0$, 任意选择集合 S 中一个节点 v , 并获取该节点的度 d_v , 设 $d = d_v$, 转第十四单元;

第十三单元, 如果 $||S|| = 0$, 以离散概率分布 $p_k / \sum_{i=1}^s p_i$ 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k 被定义为: $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在第五单元被计算获得, $k=1, 2, \dots, s$, 转第十四单元;

第十四单元, 如果 $d = 1 \wedge ||\tilde{V}_1|| = 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta + 1$, 转第十八单元; 如果 $d = 1 \wedge ||\tilde{V}_1|| > 0$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 转第十五单元; 如果 $d > 1$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$, 转第十五单元;

第十五单元, 如果 $||E_o^{LH}|| = 0$, 转第十六单元; 如果 $||E_o^{LL}|| = 0$, 转第十七单元; 如果 $||E_o^{LH}|| > 0 \wedge ||E_o^{LL}|| > 0$, 则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转第十六单元, 并以概率 $1 - P^{LL'}$ 转第十七单元, 其中, $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||)$, $\gamma^{LH'} = m^{LH} - (||E^{LH}|| - ||E^{LH'}||)$, $m^{LL} = \frac{E_d \cdot ||E^{LL}||}{||E^{LH} \cup E^{LL}||} \cdot (1 + R)$, $m^{LH} = E_d - m^{LL}$, R 为输入参数, R 的值为 0.096;

第十六单元, 计算集合 $D^h = \{d \in D \mid g'(d) - g(d) > (1/||V_2^{LL'}||)\}$, 其中

$D = \{d_u \mid u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$, 如果 $||D^h|| = 0$, 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}$

(d) }}, 其中, $\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示 $g'(d) - g(d)$ 取最大值时集合 D 中元素 d 的取值, 计算集合 E_o^{LL} 的一个子集: $E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} \mid d_u \in D^h\}$, 计算 $\Psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中, $\Psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$ 表示将 $||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))$ 取最大值时 $\psi(v)$ 的取值赋值给 Ψ' , $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 且 $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$, 计算集合 E_a 的一个子集: $E_b = \{(v, u) \in E_a \mid \psi(v) = \Psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) \mid d = 1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率, 转第十八单元;

第十七单元, 计算 $\Psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$,

且 $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH'}\}$, 计算集合 $E_o^{LH'}$ 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH'} \mid \psi(v) = \Psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 转第十八单元;

第十八单元, 更新 $t \leftarrow t + 1$, 并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 、 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$: 将节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为 0 的节点全部删除, 转第十单元;

第十九单元, 依据输出的 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取 $G' = (V_1', V_2', E')$ 覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' , 并将 V_1' 、 V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无线传感器网络拓扑控制领域,特别是涉及一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装置。

背景技术

[0002] 无线传感器网络拓扑控制由两部分组成,即拓扑构建和拓扑维护。一旦建立起最初的网络优化拓扑,网络开始执行它所指定的任务。首先,对所有无线传感器网络都有一个拓扑初始化阶段。在该阶段,每个节点用其最大发射功率发射来建立初始拓扑。在初始化阶段后,通过运行不同的算法或协议来对初始拓扑进行优化,并最终构建一个优化拓扑,该阶段称之为拓扑构建。一旦拓扑构建阶段建立起优化网络拓扑,拓扑维护阶段必须开始工作。在拓扑维护阶段,实时监测当前拓扑状态,并在适当的时候触发拓扑恢复或重构过程。拓扑维护是一个周期性的过程,通过尽可能多地轮换节点角色或重新运行拓扑构建过程或调用专用维护算法来修复或重构网络拓扑,均衡网络能量消耗,使新的拓扑成为当前最优或接近当前最优状态,并最终延长网络的生命周期。拓扑维护和其它传感器网络技术一样,其主要目的是延长网络的生命周期。

[0003] 传感器节点和汇聚节点是无线传感器网的主要组成部分。在无线传感器网中依据用户需求对不同类型传感器节点及其与汇聚节点通信链路资源进行分配,是网络资源优化的难点问题。目前,常用分配方法为随机节点、链路选择,即从当前处于空闲状态资源中按照均等概率等概率分布方式随机地选择用户需要的传感器节点及其通信链路资源进行分配。然而,现有的分配方法缺乏考虑无线传感器网络的拓扑连接关系,难以实现不同类型传感器节点及其通信链路资源的均衡分配。

发明内容

[0004] 本公开的目的是针对现有技术的不足,提供一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装置,采用二分图建模无线传感网的传感器节点集、汇聚节点集及它们之间的通信连接关系,并通过二分图采样技术,在保持采样子图与原始拓扑结构相似性的条件下,按照用户需求分配传感器节点及其通信链路资源,采用二分图建模无线传感器网中传感器节点集 V_1 、汇聚节点集 V_2 和传感器节点到汇聚节点的通信路径边集 E ,并采用映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性, V_1 中节点被分为 k 类,分别标记为 $1, 2, \dots, k$ 。对于任意节点分类 $w \in W$,采用 $L(w)$ 建模用户需求的被标记为 w 的传感器节点数量,本发明基于二分图采样的资源分配方法,将获得原始二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的一个采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$,要求在保证原始二分图拓扑 G 与采样子图 G' 拓扑结构相似性的条件下,使得对任意节点分类标号 $w \in W$,满足 $||N'(w)||$ 接近于 $L(w)$,其中 $N'(w) = \{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$ 为采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合。

[0005] 二分图定义:如果简单无向图 $G = (V, E)$ 的节点集 $V = V_1 \cup V_2$,其中 $V_1 \cap V_2 = \Phi$ 且对任意一条边 $e = (u, w) \in E$ 的两个端点 u 和 w 不可能同时属于 V_1 或同时属于 V_2 ,则该图可以表示

为 $G=(V_1, V_2, E)$ ，且该图被称为二分图。

[0006] 为了实现上述目的，本公开提出一种无线传感器网拓扑资源分配方法，具体包括以下步骤：

[0007] 输入：采用 $G=(V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的二分图拓扑结构，其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集；采用多对一映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, k\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性，即 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号；对 $\forall w \in W$ ，采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量；设置参数 T （缺省值为1，用于分类节点集 V_2 中度较大的节点）和 R （缺省值为0.096，用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差）。

[0008] 输出：满足用户需求数量 $L(w)$ 的规模缩减采样二分图 $G'=(V_1', V_2', E')$ 。

[0009] 步骤1，将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列，并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} ，参数 n_h 要求满足以下条件：在二分图 $G=(V_1, V_2, E)$ 中，节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T ，即 n_h 由输入参数 T 唯一确定；

[0010] 步骤2，计算节点集 $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$ ，并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ ，其中，边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为：

$$E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}, \quad E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\};$$

[0011] 步骤3，获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度，设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度，设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ ；

[0012] 步骤4，计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ ，其中 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率；

[0013] 步骤5，获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$ ；

[0014] 步骤6，获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ ，其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率；

[0015] 步骤7，初始化二分图 $G'=(V_1', V_2', E') \leftarrow G=(V_1, V_2, E)$ ；

[0016] 初始化二分图 $G^{LH'}=(V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ ；

[0017] 初始化二分图 $G^{LL'}=(V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ ，

[0018] 初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ ；

[0019] 步骤8，初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$ ，并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$ ，其中参数 R_R 的计算公式为： $R_R = (|V_1| - \sum_{w \in W} L(w)) / |V_1|$ ；

[0020] 步骤9，如果 $t < E_d$ ，转步骤10；否则，当前状态 $G'=(V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果，其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$ ，转步骤18；

[0021] 步骤10，如果 $\eta > 0 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$ ，则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$ ，计算两个边集：

$$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}, \quad E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}, \text{其中，集合}$$

$\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$, 其中, 对 $\forall w \in W$, 定义集合 $N'(w) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$, 其表示采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合, 当节点 $v_1 \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v_1)) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 因为 $\psi(v_1) \in W$, 并转步骤14; 否则, 转步骤11;

[0022] 步骤11, 设集合 $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $||S|| > 0$, 任意选择集合 S 中一个节点 v , 并获取该节点的度 d_v , 设 $d = d_v$, 转步骤13;

[0023] 步骤12, 如果 $||S|| = 0$, 以离散概率分布 $p_k / \sum_{i=1,2,\dots,s} p_i$ ($k=1, 2, \dots, s$) 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为: $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在步骤4被计算获得, 转步骤13;

[0024] 步骤13, 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| = 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta + 1$, 转步骤17; 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 转步骤14; 如果 $d > 1$, 则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$, 转步骤14;

[0025] 步骤14, 如果 $\|E_o^{LH}\| = 0$, 转步骤15; 如果 $\|E_o^{LL}\| = 0$, 转步骤16; 如果 $\|E_o^{LH}\| > 0 \wedge \|E_o^{LL}\| > 0$, 则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转步骤15, 并以概率 $1 - P^{LL'}$ 转步骤16, 其中, $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||)$, $\gamma^{LH'} = m^{LH} - (||E^{LH}|| - ||E^{LH'}||)$, $m^{LL} = \frac{E_d \cdot \|E^{LL}\|}{\|E^{LH} \cup E^{LL}\|} \cdot (1 + R)$, $m^{LH} = E_d - m^{LL}$;

[0026] 步骤15, 计算集合 $D^h = \{d \in D \mid g'(d) - g(d) > (1/\|V_2^{LL'}\|)\}$,

[0027] 其中 $D = \{d_u \mid u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$, 如果 $||D^h|| = 0$,

[0028] 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}$, 计算集合 E_o^{LL} 的一个子集:

$E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} \mid d_u \in D^h\}$, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 且 $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$, 计算集合 E_a 的一个子集: $E_b = \{(v, u) \in E_a \mid \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率, 转步骤17;

[0029] 步骤16, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$,

[0030] 且 $V = \{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH'}\}$, 计算集合 $E_o^{LH'}$ 的一个子集： $E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH'} | \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 转步骤17;

[0031] 步骤17, 更新 $t \leftarrow t+1$, 并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 、 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$: 将节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为0的节点全部删除, 转步骤9;

[0032] 步骤18, 依据输出的采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的原始二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取采样子图覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' , 并将 V_1' 、 V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

[0033] 符号定义: $||S||$ 表示集合 S 的势, 即集合 S 包含元素的总数。

[0034] $x \leftarrow y$ 表示将右边的函数或数值 y 赋值给左边的变量 x 。

[0035] d_v 表示节点 v 在二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中的度。

[0036] $\forall$ 表示逻辑“任意”。

[0037] $\exists$ 表示逻辑“存在”。

[0038] $\wedge$ 表示逻辑“与”; $A \wedge B$ 表示 A 与 B 均成立, 即 A 成立且 B 成立。

[0039] $\in$ 表示逻辑“属于”。

[0040] $\notin$ 表示逻辑“不属于”。

[0041] A/B : 如果 A 和 B 为数值, 则 A/B 表示 A 除以 B ; 如果 A 和 B 为两个集合, 则 A/B 表示从集合 A 中删除集合 B 中的所有元素。

[0042] $G = (V_1, V_2, E)$ 表示输入的无线传感器网二分图拓扑结构。

[0043] $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 表示传感器节点集 V_1 到节点分类标号集 W 的多对一映射, 其中 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的唯一分类标号。

[0044] $\forall w \in W$, $L(w)$ 表示用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量。

[0045] 对 $\forall w \in W$, 定义集合 $N'(w) = \{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$, 其表示采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合。当节点 $v_1 \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v_1)) = \{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 因为 $\psi(v_1) \in W$ 。当节点 $v \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 因为 $\psi(v) \in W$ 且 $\{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$ 和 $\{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = w\}$ 表示同一个集合 $N'(w)$ 。

[0046] T 为输入参数, 缺省值为1, 用于分类节点集 V_2 中度较大的节点。

[0047] 其中缺省情况下参数的取值被称为缺省值, 其是系统参数的默认值, 即表示一个参数在被修改前的初始值。

[0048] “度较大的节点”是指该节点的度与二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的规模 (即, 节点总数) 呈正比例关系。

[0049] “度较小的节点”是指该节点的度与二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的规模 (即, 节点总数) 弱相关。

[0050] “节点的度”是指与该节点相邻的边的总数。

[0051] R 为输入参数,缺省值为0.096,用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差。

[0052] V_2^{LH} 表示集合 V_2 中前 n_h 个度最大的节点构成节点子集,定义见步骤1。

[0053] $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$ 表示从集合 V_2 中删除集合 V_2^{LH} 所有元素剩余节点的集合。

[0054] $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ 为二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的两个子图,定义见步骤2。

[0055] $E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}$ 表示被包含于集合 E 且两个端点分别属于节点集 V_1 和节点集 V_2^{LH} 的全部边构成的集合。

[0056] $E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\}$ 表示被包含于集合 E 且两个端点分别属于节点集 V_1 和节点集 V_2^{LL} 的全部边构成的集合。

[0057] $d_1, d_2, \dots, d_s$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_1 包含所有节点的不相互重复的度,其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ 。

[0058] $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度分布,即 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率。

[0059] $d_{\max}$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度。

[0060] $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_2^{LL} 的度分布,即 $g(d)$ 被定义为节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率。

[0061] $G' = (V_1', V_2', E')$ 表示二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的采样子图。

[0062] $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 表示分解拓扑 $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 的采样子图。

[0063] $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 表示分解拓扑 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ 的采样子图。

[0064] $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的度分布,即 $g'(d)$ 被定义为节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL'}|$ 的比率。

[0065] $\sum_{w \in W} L(w)$ 表示对集合 W 中任意元素 w 进行 $L(w)$ 的求和。

[0066] $\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$ 表示集合 V_1' 中元素 v_1 构成的一个子集,且元素 v_1 满足以下条件: $\frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1$ 且 $d_v = 1$ 。

[0067] $\{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$ 表示边集 $E^{LH'}$ 中元素 (v, v_2) 构成的一个子集,且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in \tilde{V}_1$ 且 $v_2 \in V_2^{LH'}$ 。

[0068] (v, u) 表示连接两个节点 v 和 u 的一条边。

[0069] $\{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$ 表示边集 $E^{LL'}$ 中元素 (v, v_2) 构成的一个子集,且元素

(v, v_2) 满足条件: $v \in \tilde{V}_1$ 且 $v_2 \in V_2^{LL'}$ 。

[0070] $R_R = (||V_1|| - \sum_{w \in W} (w)) / ||V_1||$ 表示需要从二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的节点数与该二分图 G 包含节点的总数的比率, 其等于需要从二分图 G 中删除的边数与该二分图 G 包含边的总数的比率, 因为本发明技术方案可以保证规模缩减过程二分图的平均节点度稳定不变。

[0071] $E_d = ||E|| \cdot R_R$ 表示从输入到输出需要删除的边的总数。

[0072] $S = \{v | v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$ 表示属于节点集 V_1' 且节点度不属于集合 $\{d_1, d_2, \dots, d_s\}$ 的全部节点构成的集合。

[0073] $\{(v, v_2) \in E^{LH'} | v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$ 表示边集 $E^{LH'}$ 中所有元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in V_1'$ 且 $v_2 \in V_2^{LH'}$ 且 $d_v = d$ 。

[0074] $\{(v, v_2) \in E^{LL'} | v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$ 表示边集 $E^{LL'}$ 中所有元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in V_1'$ 且 $v_2 \in V_2^{LL'}$ 且 $d_v = d$ 。

[0075] $D^h = \{d \in D | g'(d) - g(d) > 1 / ||V_2^{LL'}||\}$ 表示集合 D 中所有元素 d 构成的一个子集, 且元素 d 满足条件: $g'(d) - g(d) > 1 / ||V_2^{LL'}||$ 。

[0076] $D = \{d_u | u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$ 表示所有节点 u 的度构成的集合, 其满足条件: 节点 u 属于集合 $V_2^{LL'}$, 且存在集合 V_1' 中节点 v 使得边 (v, u) 属于集合 E_o^{LL} 。

[0077] $\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示 $g'(d) - g(d)$ 取最大值时集合 D 中元素 d 的取值。

[0078] $\psi' = \arg \max_{\psi \in V} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$ 表示将 $||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))$ 取最大值时 $\psi(v)$ 的取值赋值给 ψ' , 其中 v 是属于集合 V 的元素。

[0079] $E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} | d_u \in D^h\}$ 表示边集 E_o^{LL} 中所有元素 (v, u) 构成的一个子集, 其满足条件: 节点 u 的度 d_u 属于集合 D^h 。

[0080] $E_b = \{(v, u) \in E_a | \psi(v) = \psi'\}$ 表示边集 E_a 中所有元素 (v, u) 构成的一个子集, 其满足条件: $\psi(v) = \psi'$ 。

[0081] $\{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$ 表示属于集合 V_1' 且存在集合 $V_2^{LL'}$ 中节点 u 使得边 (v, u) 属于边集 E_a 的全部节点 v 构成的集合。

[0082] $\{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}$ 表示属于集合 V_1' 且存在集合 $V_2^{LH'}$ 中节点 u 使得边 (v, u) 属于边集 E_o^{LH} 的全部节点 v 构成的集合。

[0083] 本公开还提供了一种无线传感器网拓扑资源分配装置, 所述装置包括:

[0084] 第一单元, 采用 $G = (V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的二分图拓扑结构, 其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集; 采用多对一映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性, 即 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1

的分类标号;对 $\forall w \in W$,采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量;参数 T (缺省值为1,用于分类节点集 V_2 中度较大的节点)和 R (缺省值为0.096,用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差);

[0085] 第二单元,将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列,并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} ,参数 n_h 要求满足以下条件:在二分图 $G=(V_1, V_2, E)$ 中,节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T ,即 n_h 由输入参数 T 唯一确定;

[0086] 第三单元,计算节点集 $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$,并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,其中,边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为:

$$E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}, \quad E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\};$$

[0087] 第四单元,获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度,设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度,设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$;

[0088] 第五单元,计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$,其中 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$)被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率;

[0089] 第六单元,获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

[0090] 第七单元,获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率;

[0091] 第八单元,初始化二分图 $G'=(V_1', V_2', E') \leftarrow G=(V_1, V_2, E)$;

[0092] 初始化二分图 $G^{LH'}=(V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH}=(V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$;

[0093] 初始化二分图 $G^{LL'}=(V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL}=(V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,

[0094] 初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

[0095] 第九单元,初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$,其中参数 R_R 的计算公式为: $R_R = (|V_1| - \sum_{w \in W} L(w)) / |V_1|$;

[0096] 第十九单元,如果 $t < E_d$,转第十一单元;否则,当前状态 $G'=(V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果,其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$,转第十九单元;

[0097] 第十一单元,如果 $\eta > 0 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$,则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$,计算两个边集:

$$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}, \quad E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}, \text{其中,集合}$$

$$\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}, \text{其中,对 } \forall w \in W, \text{定义集合 } N'(w) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\},$$

其表示采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合,当节点 $v_1 \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v_1)) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$,因为 $\psi(v_1) \in W$,并转第十五单元;否则,转第十二单元;

[0098] 第十二单元,设集合 $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$,如果 $|S| > 0$,任意选择集

合S中一个节点v,并获取该节点的度 d_v ,设 $d=d_v$,转第十四单元;

[0099] 第十三单元,如果 $||S||=0$,以离散概率分布 $p_k/\sum_{i=1,2,\dots,s}p_i$ ($k=1,2,\dots,s$) 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k ($k=1,2,\dots,s$) 被定义为: $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在第五单元被计算获得,转第十四单元;

[0100] 第十四单元,如果 $d=1 \wedge \|\tilde{V}_1\|=0$,则更新 $\eta \leftarrow \eta+1$,转第十八单元;如果 $d=1 \wedge \|\tilde{V}_1\|>0$,则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$,

$E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$,转第十五单元;如果 $d>1$,则计算两个边集:

$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$,

转第十五单元;

[0101] 第十五单元,如果 $\|E_o^{LH}\|=0$,转第十六单元;如果 $\|E_o^{LL}\|=0$,转第十七单元;如果

$\|E_o^{LH}\|>0 \wedge \|E_o^{LL}\|>0$,则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转第十六单元,并以概率 $1-P^{LL'}$ 转第十七单元,其中, $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||)$,

$\gamma^{LH'} = m^{LH} - (||E^{LH}|| - ||E^{LH'}||)$, $m^{LL} = \frac{E_d \cdot \|E^{LL}\|}{\|E^{LH} \cup E^{LL}\|} \cdot (1+R)$, $m^{LH} = E_d - m^{LL}$;

[0102] 第十六单元,计算集合 $D^h = \{d \in D \mid g'(d) - g(d) > (1/\|V_2^{LL'}\|)\}$,

[0103] 其中 $D = \{d_u \mid u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$,如果 $||D^h||=0$,

[0104] 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}$,计算集合 E_o^{LL} 的一个子集:

$E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} \mid d_u \in D^h\}$,计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))||/L(\psi(v))\}$,其中 $\psi(v) \in W$,

$N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$,且 $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$,计算集合 E_a 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_a \mid \psi(v) = \psi'\}$,从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$,并将边 e 从两个二分图

$G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除,即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$

且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$,更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$,其中

$g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率,转第十八单元;

[0105] 第十七单元,计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))||/L(\psi(v))\}$,其中 $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$,

[0106] 且 $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}$,计算集合 E_o^{LH} 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH} \mid \psi(v) = \psi'\}$,从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$,并将边 e 从两个

二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除,即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' /$

$\{e\}$,转第十八单元;

[0107] 第十八单元,更新 $t \leftarrow t+1$,并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 、 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$:将节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为0的节点全部删除,转第十单元;

[0108] 第十九单元,依据输出的采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的原始二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取采样子图覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' ,并将 V_1' 、 V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

[0109] 本公开的有益效果为:本公开提供一种无线传感器网拓扑资源分配方法及装置,采用二分图建模无线传感网的传感器节点集、汇聚节点集及它们之间的通信连接关系,并通过二分图采样技术,在保持采样子图与原始拓扑结构相似性的条件下,按照用户需求分配传感器节点及其通信链路资源,可以更优地实现网络不同种类资源的均衡分配,提升资源利用效率,解决了在保证分配资源(包含拓扑图的传感器节点及其至汇聚节点的通信路径边集)拓扑与原始拓扑结构相似性条件下的无线传感器网拓扑资源分配难题,从而达到无线传感器网拓扑资源均衡分配、提升资源利用效率等经济效益,依据用户需求的传感器节点种类与数量,在保持无线传感器网二分图拓扑结构属性稳定不变的条件下,为用户精确分配其需求的传感器节点数量及相应的数据通信链路资源。

附图说明

[0110] 通过对结合附图所示出的实施方式进行详细说明,本公开的上述以及其他特征将更加明显,本公开附图中相同的参考标号表示相同或相似的元素,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图,在附图中:

[0111] 图1所示为无线传感器网的拓扑结构及其中传感器节点的分类示意图;

[0112] 图2所示为基于二分图采样的无线传感器网拓扑资源分配方法的技术方案的流程图。

具体实施方式

[0113] 以下将结合实施例和附图对本公开的构思、具体结构及产生的技术效果进行清楚、完整的描述,以充分地理解本公开的目的、方案和效果。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0114] 如图1所示为无线传感器网的拓扑结构及其中传感器节点的分类示意图,下面结合图1来阐述根据本公开的实施方式的一种无线传感器网拓扑资源分配方法。

[0115] 传感器节点和汇聚节点是无线传感器网的主要组成部分。因此,无线传感器网的拓扑结构可以采用二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 进行建模,其中 V_1 和 V_2 分别是两个节点集,它们的物理意义分别代表传感器节点集和汇聚节点集, E 是边集,其物理意义为传感器节点与汇聚节点之间的数据通信链路。二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 具有以下特征:

[0116] 二分图定义:如果简单无向图 $G = (V, E)$ 的节点集 $V = V_1 \cup V_2$, 其中 $V_1 \cap V_2 = \Phi$ 且对任意一条边 $e = (u, w) \in E$ 的两个端点 u 和 w 不可能同时属于 V_1 或同时属于 V_2 , 则该图可以表示为 $G = (V_1, V_2, E)$, 且该图被称为二分图。

[0117] 节点集 V_1 和 V_2 的交集为空集,即两个节点集没有共同的元素;且图 G 的边集 E 中每条边的两个端点必定分别属于 V_1 和 V_2 两个不同的节点集。

[0118] 除了二分图拓扑结构,无线传感器网还具有其它特征:

[0119] 在汇聚节点集 V_2 中存在两种不同类型节点,分别为度较大的节点(其节点度随着拓扑规模的增长近似地线性增长)和度较小的节点(其节点度随着拓扑规模的增长近似保持不变),其中拓扑规模是指拓扑图中节点的总数。此外,在传感器节点集 V_1 中所有传感器节点可以被划分为 k 个不同的种类,例如种类1可以为温度传感器节点集、分类2可以为湿度传感器节点集等。

[0120] 因此,对于传感器节点集 V_1 ,可构建一个从传感器节点到节点分类的多对一映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$,其中集合 W 包含传感器节点的所有分类标号。映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W$ 是指,对任意节点 $v \in V_1$,在集合 W 中存在唯一的元素 $\psi(v) \in W$ 与之对应,即 $\psi(v)$ 为节点 v 所属的分类标号。符号 $\in$ 表示逻辑“属于”。

[0121] 对于用户而言,其需要从传感器节点集 V_1 中选取具有特定数量的不同种类的传感器节点。不妨设,对于任意节点分类标号 $w \in W$,用户需要相应分类的传感器节点数量为 $L(w)$ 。则,本发明的目标就是,要从原始二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 中,获得一个采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$,其中 $V_1' \subseteq V_1$, $V_2' \subseteq V_2$ 且 $E' \subseteq E$,使得对任意节点分类标号 $w \in W$,满足 $||N'(w)||$ 接近于 $L(w)$,其中 $N'(w) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = w\}$ 表示采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点,且要求采样子图 G' 与原始二分图拓扑 G 保持相似的拓扑结构属性。符号 $\subseteq$ 表示集合的“被包含”关系, $||N'(w)||$ 表示集合 $N'(w)$ 包含的元素总数,符号 $\wedge$ 表示逻辑“与”,符号 $\in$ 表示逻辑“属于”。

[0122] 本发明将采用二分图建模无线传感器网中传感器节点集 V_1 、汇聚节点集 V_2 和传感器节点到汇聚节点的通信路径边集 E ,并采用映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性。对于用户需求不同分类的传感器节点数量为 $L(w)$,其中 $w \in W$,本发明基于二分图采样的资源分配方法,将获得原始二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的一个采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$,要求在保证原始二分图拓扑 G 与采样子图 G' 拓扑结构相似性的条件下,使得对任意节点分类标号 $w \in W$,满足 $||N'(w)||$ 接近于 $L(w)$,其中 $N'(w) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = w\}$ 为采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合。本发明解决了在保证分配资源(包含拓扑图的传感器节点及其至汇聚节点的通信路径边集)拓扑与原始拓扑结构相似性条件下的无线传感器网拓扑资源分配难题,从而达到无线传感器网拓扑资源均衡分配、提升资源利用效率等经济效益。

[0123] 符号定义: $||S||$ 表示集合 S 的势,即集合 S 包含元素的总数。

[0124] $x \leftarrow y$ 表示将右边的函数或数值 y 赋值给左边的变量 x 。

[0125] d_v 表示节点 v 在二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中的度。

[0126] $\forall$ 表示逻辑“任意”。

[0127] $\exists$ 表示逻辑“存在”。

[0128] $\wedge$ 表示逻辑“与”; $A \wedge B$ 表示 A 与 B 均成立,即 A 成立且 B 成立。

[0129] $\in$ 表示逻辑“属于”。

[0130] $\notin$ 表示逻辑“不属于”。

[0131] A/B :如果 A 和 B 为数值,则 A/B 表示 A 除以 B ;如果 A 和 B 为两个集合,则 A/B 表示从集合

A中删除集合B中的所有元素。

[0132] $G = (V_1, V_2, E)$ 表示输入的无线传感器网二分图拓扑结构。

[0133] $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 表示传感器节点集 V_1 到节点分类标号集 W 的多对一映射,其中 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号。

[0134] $\forall w \in W$, $L(w)$ 表示用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量。

[0135] 对 $\forall w \in W$, 定义集合 $N'(w) = \{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$, 其表示采样子集 V_1' 中被分类至标号 w 的全部节点构成的集合。请注意, 当节点 $v_1 \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v_1)) = \{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 因为 $\psi(v_1) \in W$ 。当节点 $v \in V_1'$ 时, $N'(\psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 因为 $\psi(v) \in W$ 且 $\{v | v \in V_1' \wedge \psi(v) = w\}$ 和 $\{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = w\}$ 表示同一个集合 $N'(w)$ 。

[0136] T 为输入参数, 缺省值为1, 用于分类节点集 V_2 中度较大的节点。

[0137] 其中缺省情况下参数的取值被称为缺省值, 其是系统参数的默认值, 即表示一个参数在被修改前的初始值。

[0138] “度较大的节点”是指该节点的度与二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的规模(即, 节点总数)呈正比例关系。

[0139] “度较小的节点”是指该节点的度与二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的规模(即, 节点总数)弱相关。

[0140] “节点的度”是指与该节点相邻的边的总数。

[0141] R 为输入参数, 缺省值为0.096, 用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差。

[0142] V_2^{LH} 表示集合 V_2 中前 n_h 个度最大的节点构成节点子集, 定义见步骤1。

[0143] $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$ 表示从集合 V_2 中删除集合 V_2^{LH} 所有元素剩余节点的集合。

[0144] $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ 为二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的两个子图, 定义见步骤2。

[0145] $E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E | v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}$ 表示被包含于集合 E 且两个端点分别属于节点集 V_1 和节点集 V_2^{LH} 的全部边构成的集合。

[0146] $E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E | v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\}$ 表示被包含于集合 E 且两个端点分别属于节点集 V_1 和节点集 V_2^{LL} 的全部边构成的集合。

[0147] $d_1, d_2, \dots, d_s$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_1 包含所有节点的不相互重复的度, 其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ 。

[0148] $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度分布, 即 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$)被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率。

[0149] $d_{\max}$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度。

[0150] $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图拓扑 G 中节点集 V_2^{LL} 的度分布, 即 $g(d)$ 被定义为节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率。

[0151] $G' = (V_1', V_2', E')$ 表示二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 的采样子图。

[0152] $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 表示分解拓扑 $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 的采样子图。

[0153] $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 表示分解拓扑 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ 的采样子图。

[0154] $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的度分布, 即 $g'(d)$ 被定义为节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点数与 $\|V_2^{LL'}\|$ 的比率。

[0155] $\sum_{w \in WL} L(w)$ 表示对集合 W 中任意元素 w 进行 $L(w)$ 的求和。

[0156] $\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$ 表示集合 V_1' 中元素 v_1 构成的一个子集, 且

元素 v_1 满足以下条件: $\frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1$ 且 $d_v = 1$ 。

[0157] $\{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$ 表示边集 $E^{LH'}$ 中元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in \tilde{V}_1$ 且 $v_2 \in V_2^{LH'}$ 。

[0158] (v, u) 表示连接两个节点 v 和 u 的一条边。

[0159] $\{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$ 表示边集 $E^{LL'}$ 中元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in \tilde{V}_1$ 且 $v_2 \in V_2^{LL'}$ 。

[0160] $R_R = (||V_1|| - \sum_{w \in WL} L(w)) / ||V_1||$ 表示需要从二分图拓扑 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的节点数与该二分图 G 包含节点的总数的比率, 其等于需要从二分图 G 中删除的边数与该二分图 G 包含边的总数的比率, 因为本发明技术方案可以保证规模缩减过程二分图的平均节点度稳定不变。

[0161] $E_d = ||E|| \cdot R_R$ 表示从输入到输出需要删除的边的总数。

[0162] $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$ 表示属于节点集 V_1' 且节点度不属于集合 $\{d_1, d_2, \dots, d_s\}$ 的全部节点构成的集合。

[0163] $\{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$ 表示边集 $E^{LH'}$ 中所有元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in V_1'$ 且 $v_2 \in V_2^{LH'}$ 且 $d_v = d$ 。

[0164] $\{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$ 表示边集 $E^{LL'}$ 中所有元素 (v, v_2) 构成的一个子集, 且元素 (v, v_2) 满足条件: $v \in V_1'$ 且 $v_2 \in V_2^{LL'}$ 且 $d_v = d$ 。

[0165] $D^h = \{d \in D \mid g'(d) - g(d) > 1 / \|V_2^{LL'}\|\}$ 表示集合 D 中所有元素 d 构成的一个子集, 且元素 d 满足条件: $g'(d) - g(d) > 1 / \|V_2^{LL'}\|$ 。

[0166] $D = \{d_u \mid u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$ 表示所有节点 u 的度构成的集合, 其满足条件: 节点 u 属于集合 $V_2^{LL'}$, 且存在集合 V_1' 中节点 v 使得边 (v, u) 属于集合 E_o^{LL} 。

[0167] $\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示 $g'(d) - g(d)$ 取最大值时集合 D 中元素 d 的取值。

[0168] $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$ 表示将 $||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))$ 取最大

值时 $\Psi(v)$ 的取值赋值给 Ψ' ,其中 v 是属于集合 V 的元素。

[0169] $E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} \mid d_u \in D^h\}$ 表示边集 E_o^{LL} 中所有元素 (v, u) 构成的一个子集,其满足条件:节点 u 的度 d_u 属于集合 D^h 。

[0170] $E_b = \{(v, u) \in E_a \mid \Psi(v) = \Psi'\}$ 表示边集 E_a 中所有元素 (v, u) 构成的一个子集,其满足条件: $\Psi(v) = \Psi'$ 。

[0171] $\{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$ 表示属于集合 V_1' 且存在集合 $V_2^{LL'}$ 中节点 u 使得边 (v, u) 属于边集 E_a 的全部节点 v 构成的集合。

[0172] $\{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}$ 表示属于集合 V_1' 且存在集合 $V_2^{LH'}$ 中节点 u 使得边 (v, u) 属于边集 E_o^{LH} 的全部节点 v 构成的集合。

[0173] 本公开提出一种无线传感器网拓扑资源分配方法,流程如图2所示,具体包括以下步骤:

[0174] 输入:采用 $G = (V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的二分图拓扑结构,其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集;采用多对一映射关系 $\Psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, k\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性,即 $\Psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号;对 $\forall w \in W$,采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量;参数 T (缺省值为1,用于分类节点集 V_2 中度较大的节点)和 R (缺省值为0.096,用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差)。

[0175] 输出:满足用户需求数量 $L(w)$ 的规模缩减采样二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 。

[0176] 方法的流程与步骤:

[0177] 步骤1,将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列,并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} ,参数 n_h 要求满足以下条件:在二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中,节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T 。即, n_h 由输入参数 T 唯一确定。

[0178] 步骤2,计算节点集 $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$,并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,其中,边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为:

[0179] $E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\},$

[0180] $E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\}。$

[0181] 步骤3,获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度,设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度。不妨设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ 。

[0182] 步骤4,计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$,其中 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$)被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率。

[0183] 步骤5,获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$ 。

[0184] 步骤6,获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率。

[0185] 步骤7,初始化二分图 $G' = (V_1', V_2', E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

[0186] 初始化二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$;

[0187] 初始化二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$ 。

[0188] 初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 。

[0189] 步骤8, 初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$, 并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| \cdot R_R$, 其中参数 R_R 的计算公式为: $R_R = (||V_1|| - \sum_{w \in W} L(w)) / ||V_1||$ 。

[0190] 步骤9, 如果 $t < E_d$, 转步骤10; 否则, 当前状态 $G' = (V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果, 其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$, 转步骤18。

[0191] 步骤10, 如果 $\eta > 0 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$, 计算两个边集:

[0192] $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$,

[0193] $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$,

[0194] 其中, 集合 $\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{\|N'(\psi(v_1))\|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$, 其中 $N'(\psi(v_1)) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 并转步骤14; 否则, 转步骤11。

[0195] 步骤11, 设集合 $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $||S|| > 0$, 任意选择集合 S 中一个节点 v , 并获取该节点的度 d_v , 设 $d = d_v$, 转步骤13。

[0196] 步骤12, 如果 $||S|| = 0$, 以离散概率分布 $p_k / \sum_{i=1, 2, \dots, s} p_i$ ($k=1, 2, \dots, s$) 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为:

[0197] $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$,

[0198] 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在步骤4被计算获得。转步骤13。

[0199] 步骤13, 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| = 0$, 则更新 $\eta \leftarrow \eta + 1$, 转步骤17;

[0200] 如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$, 则计算两个边集:

[0201] $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$,

[0202] 转步骤14;

[0203] 如果 $d > 1$, 则计算两个边集:

[0204] $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$,

[0205] $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$, 转步骤14。

[0206] 步骤14, 如果 $\|E_o^{LH}\| = 0$, 转步骤15;

[0207] 如果 $\|E_o^{LL}\| = 0$, 转步骤16;

[0208] 如果 $\|E_o^{LH}\| > 0 \wedge \|E_o^{LL}\| > 0$, 则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转步骤15, 并以概率 $1 - P^{LL'}$ 转步骤16。其中,

[0209] $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||), \gamma^{LH'} = m^{LH} - (||E^{LH}|| - ||E^{LH'}||),$

[0210] $m^{LL} = \frac{E_d \cdot \|E^{LL}\|}{\|E^{LH} \cup E^{LL}\|} \cdot (1 + R), m^{LH} = E_d - m^{LL}.$

[0211] 步骤15, 计算集合 $D^h = \{d \in D \mid g'(d) - g(d) > \left(1/\|V_2^{LL'}\|\right)\}$, 其中

[0212] $D = \{d_u \mid u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}.$

[0213] 如果 $||D^h|| = 0$, 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}.$

[0214] 计算集合 E_o^{LL} 的一个子集:

[0215] $E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} \mid d_u \in D^h\}$, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W, N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 且

[0216] $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$. 计算集合 E_a 的一个子集:

[0217] $E_b = \{(v, u) \in E_a \mid \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$.

[0218] 更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) \mid d = 1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率。转步骤17。

[0219] 步骤16, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W, N'(\psi(v)) = \{v_1 \mid v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 且

[0220] $V = \{v \mid v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}.$

[0221] 计算集合 E_o^{LH} 的一个子集:

[0222] $E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH} \mid \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$.

[0223] 转步骤17。

[0224] 步骤17, 更新 $t \leftarrow t + 1$, 并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E'), G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 $V_1', V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$: 将节点集 $V_1', V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为0的节点全部删除。转步骤9。

[0225] 步骤18, 依据输出的采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的原始二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取采样子图覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' , 并将 V_1', V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

[0226] 本发明以无线传感器网的传感器节点资源分配为实施例。根据用户需求的传感器节点种类及不同种类下需求的传感器节点数量, 可以通过二分图采样技术, 在保持采样子图与原始无线传感器网二分图拓扑之间结构相似性的条件下, 为用户精确分配其所需的拓

扑资源。无线传感器网的二分图拓扑结构及相应传感器节点分类示意图如图1所示。在拓扑资源分配过程中保持采样子图与原始二分图拓扑结构的相似性,为传感器节点至汇聚节点通信链路和汇聚节点的合理分配,提供了技术保证,可达到有效提升无线传感器网拓扑资源利用效率的经济效益。

[0227] 在二分图的拓扑采样过程,选择的拓扑属性包括:

[0228] 节点度分布二维属性 $\overline{F}(d)$ vs. d : 定义为 $\overline{F}(d) = \sum_{k>d} f(k)$, 其中 d 为节点度, $\overline{F}(d)$ 为度大于 d 的节点数与拓扑图节点总数的比率, $f(k)$ 为拓扑图中度为 k 节点的比率。二维属性 $\overline{F}(d)$ vs. d 在直角坐标系中, 是以 d 为变量且以 $\overline{F}(d)$ 为函数值的二维函数曲线。

[0229] 聚类系数二维属性 $C(d)$ vs. d :

[0230] 定义为 $C(d) = 2T_d / (d(d-1))$, 其中 $T_d = \sum_{i=1,2,\dots,t} T(v_i) / t$, d 为节点度, $C(d)$ 为节点度 d 的聚类系数, $v_1, v_2, \dots, v_t$ 为拓扑图中所有度为 d 的节点, t 为拓扑图中度为 d 的节点总数, $T(v_i)$ 为节点 v_i 任意两个相邻节点之间边的总数。二维属性 $C(d)$ vs. d 在直角坐标系中, 是以 d 为变量且以 $C(d)$ 为函数值的二维函数曲线。

[0231] 路径长度分布二维属性 $\mu(1)$ vs. 1 : 定义 $\mu(1)$ 为拓扑图中相互间最短路径长度为1的节点对总数占据全部节点对总数的比率。二维属性 $\mu(1)$ vs. 1 在直角坐标系中, 是以1为变量且以 $\mu(1)$ 为函数值的二维函数曲线。

[0232] 其中vs.表示“相对于”, 即表示vs.前的函数是相对于vs.后的变量的函数。例如, $\overline{F}(d)$ vs. d 表示 $\overline{F}(d)$ 是相对于变量 d 的函数。

[0233] 应用效果表明, 当用户需求的传感器节点总数占无线传感器网原始二分图拓扑中传感器节点总数的比率低于10%时(即需要删减的节点数比率在90%以上), 本发明仍可有效保持采样子图与原始拓扑在上述拓扑属性的相似性。

[0234] 本公开还提供了一种无线传感器网拓扑资源分配装置, 所述装置包括:

[0235] 第一单元, 采用 $G = (V_1, V_2, E)$ 建模无线传感器网的二分图拓扑结构, 其中 V_1 为传感器节点集、 V_2 为汇聚节点集且 E 为传感器节点到汇聚节点的通信路径边集; 采用多对一映射关系 $\psi: V_1 \rightarrow W = \{1, 2, \dots, j\}$ 建模传感器节点集 V_1 中节点的分类属性, 即 $\psi(v_1)$ 为 V_1 中节点 v_1 的分类标号; 对 $\forall w \in W$, 采用 $L(w)$ 建模用户对分类标号为 w 的传感器节点的需求数量; 参数 T (缺省值为1, 用于分类节点集 V_2 中度较大的节点)和 R (缺省值为0.096, 用于调整节点集 V_2 中度较大节点的分类误差);

[0236] 第二单元, 将节点集 V_2 中全部节点按度从大到小顺序排列, 并抽取前 n_h 个度最大的节点构成节点子集 V_2^{LH} , 参数 n_h 要求满足以下条件: 在二分图 $G = (V_1, V_2, E)$ 中, 节点子集 V_2^{LH} 中拥有相同度的节点数的最大值为 T , 即 n_h 由输入参数 T 唯一确定;

[0237] 第三单元, 计算节点集 $V_2^{LL} = V_2 / V_2^{LH}$, 并分解二分图 G 为两个子图 $G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$ 和 $G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$, 其中, 边集 E^{LH} 和 E^{LL} 被定义为:

$$E^{LH} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH}\}, \quad E^{LL} = \{(v_1, v_2) \in E \mid v_1 \in V_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL}\};$$

[0238] 第四单元, 获取二分图 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度, 设 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 为这些节点度中互不重复的全部节点度, 设 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$;

[0239] 第五单元,计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 在节点集 V_1 的分布比率 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$, 其中 $f(d_k)$ ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $|V_1|$ 的比率;

[0240] 第六单元,获取二分图 G 中节点集 V_2^{LL} 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

[0241] 第七单元,获取节点集 V_2^{LL} 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2^{LL} 中度为 d 的节点数与 $|V_2^{LL}|$ 的比率;

[0242] 第八单元,初始化二分图 $G' = (V_1', V_2', E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

[0243] 初始化二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'}) \leftarrow G^{LH} = (V_1, V_2^{LH}, E^{LH})$;

[0244] 初始化二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'}) \leftarrow G^{LL} = (V_1, V_2^{LL}, E^{LL})$,

[0245] 初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

[0246] 第九单元,初始化变量 $t \leftarrow 0, \eta \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$, 其中参数 R_R 的计算公式为: $R_R = (|V_1| - \sum_{w \in W} L(w)) / |V_1|$;

[0247] 第十单元,如果 $t < E_d$,转第十一单元;否则,当前状态 $G' = (V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果,其中 $V_2' = V_2^{LH'} \cup V_2^{LL'}$ 且 $E' = E^{LH'} \cup E^{LL'}$,转第十九单元;

[0248] 第十一单元,如果 $\eta > 0 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$,则更新 $\eta \leftarrow \eta - 1$,计算两个边集:

$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 其中, 集合

$\tilde{V}_1 = \left\{ v_1 \in V_1' \mid \frac{|N'(\psi(v_1))|}{L(\psi(v_1))} > 1 \wedge d_v = 1 \right\}$, 其中 $N'(\psi(v_1)) = \{v \mid v \in V_1' \wedge \psi(v) = \psi(v_1)\}$, 并转

第十五单元;否则,转第十二单元;

[0249] 第十二单元,设集合 $S = \{v \mid v \in V_1' \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $|S| > 0$,任意选择集合 S 中一个节点 v ,并获取该节点的度 d_v ,设 $d = d_v$,转第十四单元;

[0250] 第十三单元,如果 $|S| = 0$,以离散概率分布 $p_k / \sum_{i=1, 2, \dots, s} p_i$ ($k=1, 2, \dots, s$) 随机抽取一个节点度 $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 其中 p_k ($k=1, 2, \dots, s$) 被定义为: $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, 其中 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 在第五单元被计算获得,转第十四单元;

[0251] 第十四单元,如果 $d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| = 0$,则更新 $\eta \leftarrow \eta + 1$,转第十八单元;如果

$d = 1 \wedge \|\tilde{V}_1\| > 0$,则计算两个边集: $E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LH'}\}$,

$E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in \tilde{V}_1 \wedge v_2 \in V_2^{LL'}\}$, 转第十五单元;如果 $d > 1$,则计算两个边集:

$E_o^{LH} = \{(v, v_2) \in E^{LH'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LH'} \wedge d_v = d\}$, $E_o^{LL} = \{(v, v_2) \in E^{LL'} \mid v \in V_1' \wedge v_2 \in V_2^{LL'} \wedge d_v = d\}$,

转第十五单元;

[0252] 第十五单元,如果 $\|E_o^{LH}\| = 0$,转第十六单元;如果 $\|E_o^{LL}\| = 0$,转第十七单元;如果

$\|E_o^{LH}\| > 0 \wedge \|E_o^{LL}\| > 0$,则以概率 $P^{LL'} = \gamma^{LL'} / (\gamma^{LH'} + \gamma^{LL'})$ 转第十六单元,并以概率 $1 - P^{LL'}$ 转第

十七单元, 其中, $\gamma^{LL'} = m^{LL} - (||E^{LL}|| - ||E^{LL'}||)$, $\gamma^{LH'} = m^{LH} - (||ELH|| - ||E^{LH'}||)$,

$$m^{LL} = \frac{E_d \cdot ||E^{LL}||}{||E^{LH} \cup E^{LL}||} \cdot (1 + R), m^{LH} = E_d - m^{LL};$$

[0253] 第十六单元, 计算集合 $D^h = \{d \in D | g'(d) - g(d) > (1/||V_2^{LL'}||)\}$,

[0254] 其中 $D = \{d_u | u \in V_2^{LL'} \wedge \exists v \in V_1', (v, u) \in E_o^{LL}\}$, 如果 $||D^h|| = 0$,

[0255] 则更新 $D^h \leftarrow \{\arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}\}$, 计算集合 E_o^{LL} 的一个子集:

$E_a = \{(v, u) \in E_o^{LL} | d_u \in D^h\}$, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W$,

$N'(\psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$, 且 $V = \{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LL'}, (v, u) \in E_a\}$, 计算集合 E_a 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_a | \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LL'} \leftarrow E^{LL'} / \{e\}$

且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 更新二分图 $G^{LL'}$ 中节点集 $V_2^{LL'}$ 的节点度分布 $\{g'(d) | d = 1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 $V_2^{LL'}$ 中度为 d 的节点比率, 转第十八单元;

[0256] 第十七单元, 计算 $\psi' = \arg \max_{\psi(v)} \{||N'(\psi(v))|| / L(\psi(v))\}$, 其中 $\psi(v) \in W$, $N'(\psi(v)) = \{v_1 | v_1 \in V_1' \wedge \psi(v_1) = \psi(v)\}$,

[0257] 且 $V = \{v | v \in V_1' \wedge \exists u \in V_2^{LH'}, (v, u) \in E_o^{LH}\}$, 计算集合 E_o^{LH} 的一个子集:

$E_b = \{(v, u) \in E_o^{LH} | \psi(v) = \psi'\}$, 从集合 E_b 中均等概率地随机抽取一条边 $e \in E_b$, 并将边 e 从两个二分图 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 和 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除, 即更新 $E^{LH'} \leftarrow E^{LH'} / \{e\}$ 且 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 转第十八单元;

[0258] 第十八单元, 更新 $t \leftarrow t + 1$, 并更新三个二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 、 $G^{LL'} = (V_1', V_2^{LL'}, E^{LL'})$ 和 $G^{LH'} = (V_1', V_2^{LH'}, E^{LH'})$ 的节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$: 将节点集 V_1' 、 $V_2^{LL'}$ 和 $V_2^{LH'}$ 中度为 0 的节点全部删除, 转第十单元;

[0259] 第十九单元, 依据输出的采样子图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在无线传感器网的原始二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中抽取采样子图覆盖的传感器节点集 V_1' 、汇聚节点集 V_2' 和通信链路边集 E' , 并将 V_1' 、 V_2' 和 E' 覆盖的拓扑资源分配给用户。

[0260] 所述一种无线传感器网拓扑资源分配装置可以运行于桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备中。所述一种无线传感器网拓扑资源分配装置, 可运行的装置可包括, 但不限于, 处理器、存储器。本领域技术人员可以理解, 所述例子仅仅是一种无线传感器网拓扑资源分配装置的示例, 并不构成对一种无线传感器网拓扑资源分配装置的限定, 可以包括比例子更多或更少的部件, 或者组合某些部件, 或者不同的部件, 例如所述一种无线传感器网拓扑资源分配装置还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0261] 所称处理器可以是中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU), 还可以是其他通用处理器、数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路

(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等,所述处理器是所述一种无线传感器网拓扑资源分配装置运行装置的控制中心,利用各种接口和线路连接整个一种无线传感器网拓扑资源分配装置可运行装置的各个部分。

[0262] 所述存储器可用于存储所述计算机程序和/或模块,所述处理器通过运行或执行存储在所述存储器内的计算机程序和/或模块,以及调用存储在存储器内的数据,实现所述一种无线传感器网拓扑资源分配装置的各种功能。所述存储器可主要包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序(比如声音播放功能、图像播放功能等)等;存储数据区可存储根据手机的使用所创建的数据(比如音频数据、电话本等)等。此外,存储器可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非易失性存储器,例如硬盘、内存、插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card, SMC),安全数字(Secure Digital, SD)卡,闪存卡(Flash Card)、至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。

[0263] 尽管本公开的描述已经相当详尽且特别对几个所述实施例进行了描述,但其并非旨在局限于任何这些细节或实施例或任何特殊实施例,而是应当将其视作是通过参考所附权利要求考虑到现有技术为这些权利要求提供广义的可能性解释,从而有效地涵盖本公开的预定范围。此外,上文以发明人可预见的实施例对本公开进行描述,其目的是为了提供有用的描述,而那些目前尚未预见的对本公开的非实质性改动仍可代表本公开的等效改动。

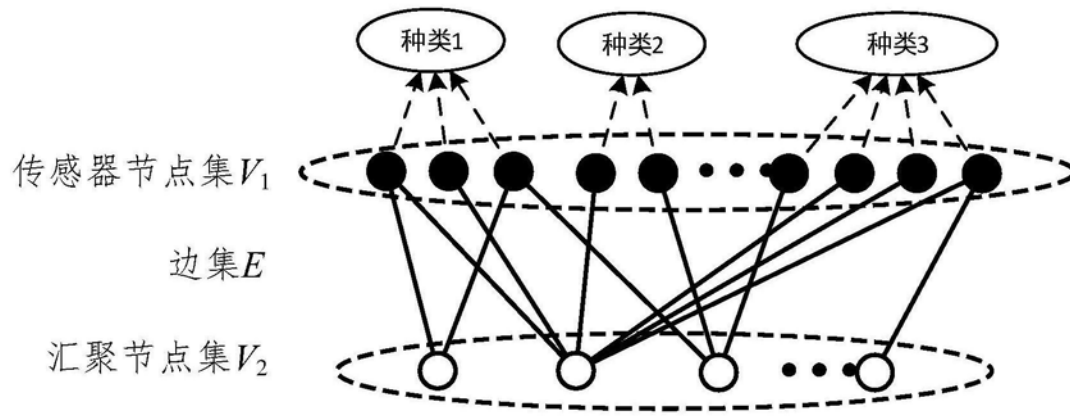


图1

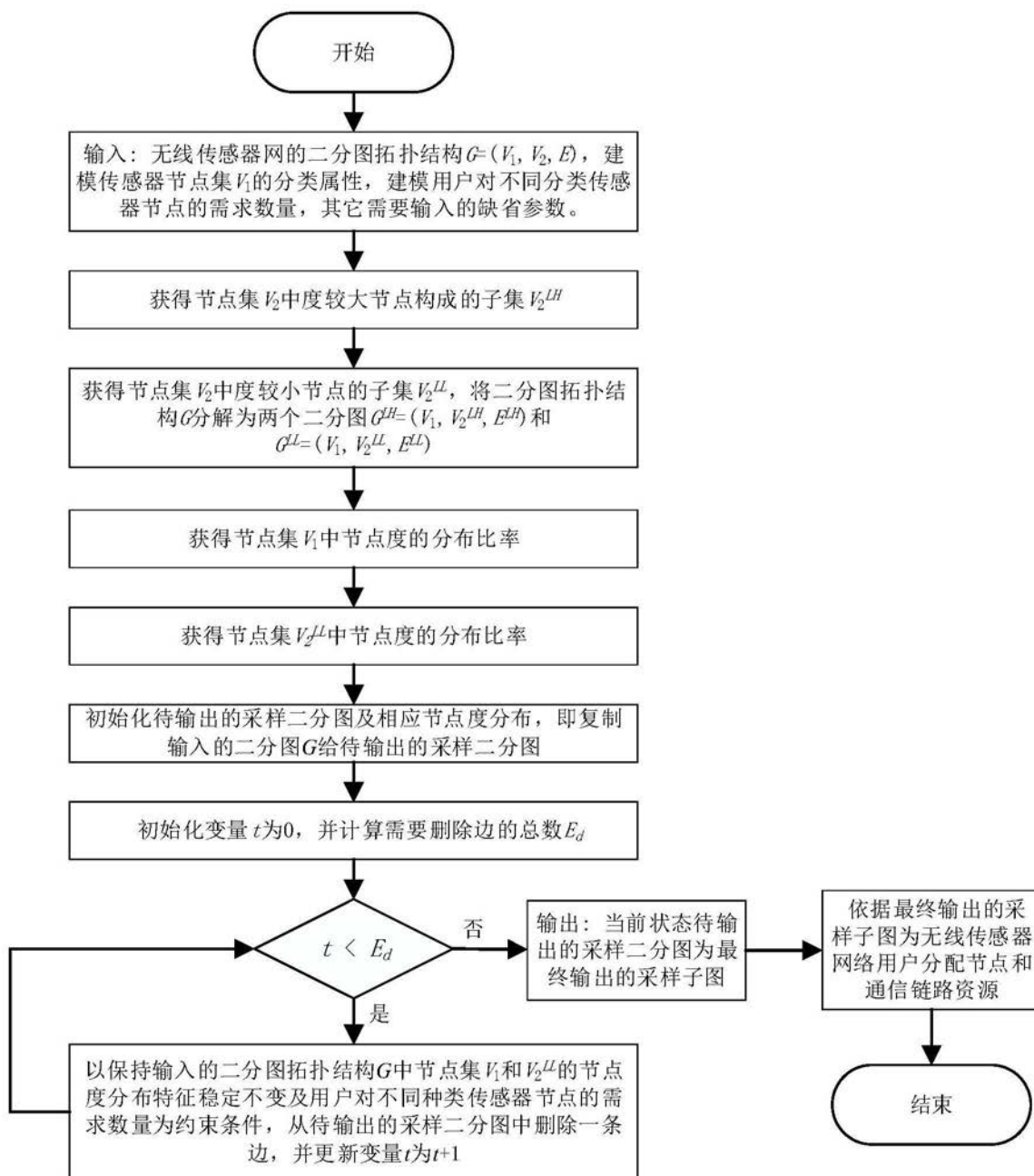


图2