



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108768735 B

(45) 授权公告日 2020.11.06

(21) 申请号 201810565414.7

H04L 12/26 (2006.01)

(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 104102745 A, 2014.10.15

申请公布号 CN 108768735 A

US 2015381334 A1, 2015.12.31

(43) 申请公布日 2018.11.06

CN 106685745 A, 2017.05.17

(73) 专利权人 佛山科学技术学院

CN 106101001 A, 2016.11.09

地址 528000 广东省佛山市南海区狮山镇

CN 105530654 A, 2016.04.27

仙溪水库西路佛山科学技术学院

CN 102904815 A, 2013.01.30

(72) 发明人 焦波 石建迈 张文生 邢立宁

夏娜等. 基于维诺图和二分图的水面移动基
站路径规划方法.《自动化学报》.2016,

戎海武 何敏藩 于辉 王向东

审查员 阎洁

(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3页 说明书10页 附图1页

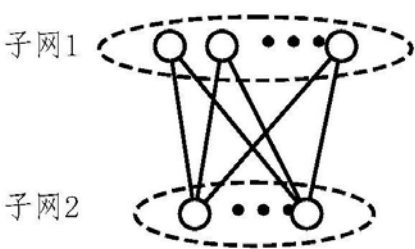
(54) 发明名称

一种测试床拓扑结构的二分图采样方法及
装置

(57) 摘要

本公开面向计算机网络中广泛存在的二分图拓扑结构,提出一种测试床拓扑结构的二分图采样方法及装置,采用二分图采样方法,在维持拓扑属性稳定不变的前提条件下大比例降低测试床构建所需的仿真资源节点数量,解决有限仿真资源条件下的测试床构建难点问题,从而达到大幅度降低测试床构建成本和提高测试任务运行时间复杂性等经济效益,本发明可以在保持节点度分布、聚类系数和路径长度等重要拓扑属性稳定即近似保持不变的前提下,大比例地缩减计算机网络测试床二分图拓扑结构的规模,规模缩减率可以达到96%以上。

○：计算机网络节点（路由器、服务器）



1. 一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,其特征在于:该方法包括以下步骤:

步骤1,获取计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 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,其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$, V_1 和 V_2 为二分图拓扑结构 G 的节点集且 E 为 G 的边集, s 为大于0的正整数,设定规模缩减率 R_R ,其被定义为需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与 $||E||$ 的比率,其中 $||E||$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数;缺省情况下 R_R 的取值为0.96;

步骤2,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,其中, $k=1, 2, \dots, s$;

步骤3,获取二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

步骤4,获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $||V_2||$ 的比率;

步骤5,初始化二分图 $G' = (V_1', V_2', E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

步骤6,初始化节点度分布 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

步骤7,初始化变量 $t \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| \cdot R_R$;

步骤8,如果 $t < E_d$,转步骤9;否则,当前状态 $G' = (V_1', V_2', E')$ 为最终输出结果,转步骤15;

步骤9,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 ,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | \exists w \in V_2', (v, w) \in E'\}$;

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 $p_k = \sum_{i=1}^k f(d_i)$, $f(d_i)$ 在步骤2已被计算获得,计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | v \in V_1' \wedge w \in V_2' \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$,其中, $k=1, 2, \dots, s; i=1, 2, \dots, s$;

步骤10,计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$,其中, $D = \{d_w | w \in V_2' \wedge \exists v \in V_1', (v, w) \in E_o\}$,所述 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示将集合 D 中使得 $g'(d) - g(d)$ 最大值的 d 的取值赋值给 d^h ,其中 $d \in D$,所述 $D = \{d_w | w \in V_2' \wedge \exists v \in V_1', (v, w) \in E_o\}$ 表示以二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中节点度 d_w 为元素的集合,其中节点 w 满足以下要求:节点 w 属于节点集 V_2' 且存在节点集 V_1' 中的一个节点 v 使得边 (v, w) 属于集合 E_o ;

步骤11,计算集合 E_o 的一个子集: $E_a = \{(v, w) | (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$;

步骤12,从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边 e ,

将该边从二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 中删除,即更新 $E' \leftarrow E' / \{e\}$,同时更新二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 的节点集 V_1' 和 V_2' :将节点集 V_1' 和 V_2' 中度为0的节点删除;

步骤13,更新节点度分布 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g'(d)$ 为节点集 V_2' 中度为 d 的节点数与 $||V_2'||$ 的比率,其中, $d=1, 2, \dots, d_{\max}$;

步骤14,更新 $t \leftarrow t+1$,转步骤8;

步骤15,依据输出的采样二分图 $G' = (V_1', V_2', E')$ 在计算机网络测试床上调用仿真节点资源,生成测试床的仿真拓扑结构。

2. 根据权利要求1所述的一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,其特征在于,在步骤2中,所述 $f(d_k)$ 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $||V_1||$ 的比率, $||V_1||$ 表示集合 V_1 的势,

被定义为节点集 V_1 包含元素的总数,所述 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度分布,其中, $k=1, 2, \dots, s$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,其特征在于,在步骤6中,所述 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示将 $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 赋值给 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g'(d)$ 表示节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率, $|V'_2|$ 表示集合 V'_2 的势,集合 V'_2 的势为节点集 V'_2 包含元素的总数,所述 $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 的度分布,即 $g(d)$ 被定义为节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率, $|V_2|$ 表示集合 V_2 的势,集合 V_2 的势为节点集 V_2 包含元素的总数。

4. 根据权利要求1所述的一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,其特征在于,在步骤7中,所述 $E_d = |E| \cdot R_R$ 表示从输入到输出需要删除的边的总数,所述 $t \leftarrow 0$ 表示将0赋值给 t , $|E|$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数, R_R 表示需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与该二分图 G 包含边数的比率,其等于需要从二分图 G 中删除的节点数与该二分图 G 包含节点数的比率。

5. 根据权利要求1所述的一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,其特征在于,在步骤15中,所述仿真节点资源包括服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站其中一种。

6. 一种测试床拓扑结构的二分图采样装置,其特征在于,所述装置包括:

第一单元,用于获取计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 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,其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$, V_1 和 V_2 为二分图拓扑结构 G 的节点集且 E 为 G 的边集, s 为大于0的正整数,并用于设定规模缩减率 R_R ,其被定义为需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与 $|E|$ 的比率,其中 $|E|$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数;缺省情况下 R_R 的取值为0.96;

第二单元,用于计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 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,其中, $k=1, 2, \dots, s$;

第三单元,用于获取二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

第四单元,用于获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率;

第五单元,用于初始化二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

第六单元,用于初始化节点度分布 $\{g'(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$;

第七单元,用于初始化变量 $t \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$;

第八单元,用于判断如果 $t < E_d$,转第九单元;否则,当前状态 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 为最终输出结果,转第十五单元;

第九单元,用于计算集合 $S = \{v | v \in V'_1 \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$,如果 $|S| > 0$,任意选择集合 S 中一个节点 v ,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$;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 $f(d_i)$ 在第二单元已获得,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$,其中, $k=1, 2, \dots, s; i=1, 2, \dots, s$;

第十单元,用于计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$,其中

$D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$, 所述 $d^h = \arg_d \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示将集合 D 中使得 $g'(d) - g(d)$ 最大值的 d 的取值赋值给 d^h , 其中 $d \in D$, 所述 $D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$ 表示以二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中节点度 d_w 为元素的集合, 其中节点 w 满足以下要求: 节点 w 属于节点集 V'_2 且存在节点集 V'_1 中的一个节点 v 使得边 (v, w) 属于集合 E_o ;

第十一单元, 用于计算集合 E_o 的一个子集: $E_a = \{(v, w) \mid (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$;

第十二单元, 用于从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边 e ,

将该边从二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中删除, 即更新 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 同时更新二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 的节点集 V'_1 和 V'_2 : 将节点集 V'_1 和 V'_2 中度为 0 的节点删除;

第十三单元, 用于更新节点度分布 $\{g'(d) \mid d = 1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 为节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率, 其中, $d = 1, 2, \dots, d_{\max}$;

第十四单元, 用于更新 $t \leftarrow t + 1$, 转第八单元;

第十五单元, 用于依据输出的采样二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 在计算机网络测试床上调用仿真节点资源, 生成测试床的仿真拓扑结构。

一种测试床拓扑结构的二分图采样方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及网络拓扑领域,特别是涉及一种测试床拓扑结构的二分图采样方法及装置。

背景技术

[0002] 路由协议、资源定位等计算机网络技术的开发、测试与评估,需要构建相应的仿真测试床。其中,测试床拓扑结构的规模缩减,是降低测试床构建成本、提升测试运行时间效率的重要保证。在计算机网络的多样化拓扑连接关系中,二分图拓扑结构是一种广泛存在的连接模式。当需要对多子网结构的子网与子网之间拓扑连接关系的合理性进行测试与评估时,在仿真的计算机网络测试床上需要配置子网与子网之间的二分图拓扑结构。图采样是测试床拓扑结构规模缩减的常用方法。但是,现有的图采样技术(例如,forest fire, random walk, breadth first search和snowball)应用范围较广,可被应用于社交网络、交通网络等多样化的图结构,缺乏对计算机网络中二分图拓扑结构独有属性的感知,无法在维持属性稳定性的条件下实现二分图拓扑结构70%以上的大比例规模缩减。

发明内容

[0003] 本公开的目的是针对现有技术的不足,本发明面向计算机网络中广泛存在的二分图拓扑结构,提出一种测试床拓扑结构的二分图采样方法及装置。

[0004] 为了实现上述目的,本公开提出一种测试床拓扑结构的二分图采样方法,具体包括以下步骤:

[0005] 步骤1,获取计算机网络二分图拓扑结构 $G=(V_1, V_2, E)$ 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,其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$, V_1 和 V_2 为二分图拓扑结构 G 的节点集且 E 为 G 的边集, s 为大于0的正整数,设定规模缩减率 R_R ,其被定义为需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G=(V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与 $||E||$ 的比率,其中 $||E||$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数;缺省情况下 R_R 的取值为0.96;

[0006] 步骤2,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, $||V_1||$ 表示集合 V_1 的势,集合 V_1 的势为节点集 V_1 包含元素的总数;

[0007] 步骤3,获取计算机网络二分图拓扑结构 $G=(V_1, V_2, E)$ 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

[0008] 步骤4,获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) | d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $||V_2||$ 的比率, $||V_2||$ 表示集合 V_2 的势,集合 V_2 的势为节点集 V_2 包含元素的总数;

[0009] 步骤5,初始化二分图采样子图 $G'=(V'_1, V'_2, E') \leftarrow G=(V_1, V_2, E)$,

[0010] 所述 $G'=(V'_1, V'_2, E') \leftarrow G=(V_1, V_2, E)$ 表示将 $G=(V_1, V_2, E)$ 赋值给 $G'=(V'_1, V'_2, E')$, V'_1 和 V'_2 为二分图拓扑结构 G' 的节点集且 E' 为 G' 的边集;

[0011] 步骤6,初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$;

[0012] 步骤7,初始化变量 $t \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| \cdot R_R$;

[0013] 步骤8.如果 $t < E_d$,转步骤9;否则,将当前状态 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 作为最终输出结果,转步骤15;

[0014] 步骤9.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,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) \mid \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$, $||S||$ 表示集合S的势,集合S的势为节点集S包含元素的总数, $\{(v, w) \mid \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$ 表示存在节点集 V'_2 中的一个节点w使得边 $(v, w) \in E'$ 成立的全部边 (v, w) 构成的集合,v为节点集 V'_1 的节点,

[0015] 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 $f(d_i)$ ($i=1,2,\dots,s$) 在步骤2已获得,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) \mid v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$, $\{(v, w) \mid v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$ 表示满足节点v属于节点集 V'_1 且节点w属于节点集 V'_2 且边 (v, w) 属于边集 E' 且节点v的度 d_v 等于d的全部边 (v, w) 构成的集合;

[0016] 步骤10,计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$,其中, $D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$,所述 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示将集合D中使得 $g'(d) - g(d)$ 最大值的d的取值赋值给 d^h ,其中 $d \in D$,所述 $D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$ 表示以二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中节点度 d_w 为元素的集合,其中节点w满足以下要求:节点w属于节点集 V'_2 且存在节点集 V'_1 中的一个节点v使得边 (v, w) 属于集合 E_o ;

[0017] 步骤11,计算集合 E_o 的一个子集: $E_a = \{(v, w) \mid (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$,

[0018] $E_a = \{(v, w) \mid (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$ 表示满足边 (v, w) 属于集合 E_o 且节点w在二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中的度等于 d^h 的全部边 (v, w) 构成的集合;

[0019] 步骤12,从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边e;

[0020] 将该边从二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中删除,即更新 $E' \leftarrow E' / \{e\}$,同时更新二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 的节点集 V'_1 和 V'_2 :将节点集 V'_1 和 V'_2 中度为0的节点删除,所述 $E' \leftarrow E' / \{e\}$ 表示将 $E' / \{e\}$ 赋值给 E' ,所述 $E' / \{e\}$ 表示从集合 E' 中删除一条边e;

[0021] 步骤13,更新节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$,其中 $g'(d)$ ($d=1,2,\dots,d_{\max}$) 为节点集 V'_2 中度为d的节点数与 $||V'_2||$ 的比率,其中 $||V'_2||$ 表示集合 V'_2 的势,集合 V'_2 的势为节点集 V'_2 包含元素的总数;

[0022] 步骤14,更新 $t \leftarrow t+1$,转步骤8,所述 $t \leftarrow t+1$ 表示将 $t+1$ 赋值给 t ;

[0023] 步骤15,依据输出的采样二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 在计算机网络测试床上调用仿真节点资源,生成测试床的仿真拓扑结构。

[0024] 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。

[0025] 进一步地,在步骤2中,所述 $f(d_k)$ ($k=1,2,\dots,s$) 被定义为集合 V_1 中度为 d_k 的节点数与 $||V_1||$ 的比率, $||V_1||$ 表示集合 V_1 的势(即,节点集 V_1 包含元素的总数),所述 $f(d_1)$, f

$(d_2), \dots, f(d_s)$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_1 包含所有节点的度分布。

[0026] 进一步地,在步骤6中,所述 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$ 表示将 $\{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$ 赋值给 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ 表示节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率, $|V'_2|$ 表示集合 V'_2 的势,集合 V'_2 的势为节点集 V'_2 包含元素的总数,所述 $\{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 的度分布,即 $g(d)$ 被定义为节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率,其中 $|V_2|$ 表示集合 V_2 的势,集合 V_2 的势为节点集 V_2 包含元素的总数。

[0027] 进一步地,在步骤7中,所述 $E_d = ||E|| R_R$ 表示从输入到输出需要删除的边的总数,所述 $t \leftarrow 0$ 表示将0赋值给 t , $||E||$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数, R_R 表示需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与该二分图 G 包含边数的比率,其等于需要从二分图 G 中删除的节点数与该二分图 G 包含节点数的比率。

[0028] 进一步地,在步骤15中,所述仿真节点资源包括服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站其中一种。

[0029] 本公开还提供了一种测试床拓扑结构的二分图采样装置,所述装置包括:

[0030] 第一单元,用于获取计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 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,其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$, V_1 和 V_2 为二分图拓扑结构 G 的节点集且 E 为 G 的边集, s 为大于0的正整数,并用于设定规模缩减率 R_R ,其被定义为需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边数与 $||E||$ 的比率,其中 $||E||$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数;缺省情况下 R_R 的取值为0.96;

[0031] 第二单元,用于计算节点度 $d_1, d_2, \dots, d_s$ 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;

[0032] 第三单元,用于获取二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

[0033] 第四单元,用于获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$, 其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率;

[0034] 第五单元,用于初始化二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$;

[0035] 第六单元,用于初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$;

[0036] 第七单元,用于初始化变量 $t \leftarrow 0$, 并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| R_R$;

[0037] 第八单元,用于判断如果 $t < E_d$, 转第九单元;否则,当前状态 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 为最终输出结果,转第十五单元;

[0038] 第九单元,用于计算集合 $S = \{v \mid v \in V'_1 \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$, 如果 $||S|| > 0$, 任意选择集合 S 中一个节点 v , 并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) \mid \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$;

[0039] 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 $f(d_i)$ ($i=1,2,\dots,s$) 在第二单元已获得, 并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) \mid v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$;

[0040] 第十单元,用于计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$, 其中 $D = \{d_w | w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$;

[0041] 第十一单元,用于计算集合 E_o 的一个子集: $E_a = \{(v, w) | (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$;

[0042] 第十二单元,用于从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边 e ,

[0043] 将该边从二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中删除,即更新 $E' \leftarrow E' / \{e\}$,同时更新二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 的节点集 V'_1 和 V'_2 : 将节点集 V'_1 和 V'_2 中度为0的节点删除;

[0044] 第十三单元,用于更新节点度分布 $\{g'(d) | d = 1, 2, \dots, d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ ($d = 1, 2, \dots, d_{\max}$) 为节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率;

[0045] 第十四单元,用于更新 $t \leftarrow t + 1$, 转第八单元;

[0046] 第十五单元,用于依据输出的采样二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 在计算机网络测试床上调用服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站等仿真节点资源,生成测试床的仿真拓扑结构。

[0047] 本公开的有益效果为:本公开采用二分图采样方法,设计计算机网络测试床二分图拓扑结构的大比例规模缩减技术,在维持拓扑属性稳定不变的前提条件下大比例降低测试床构建所需的仿真资源节点数量,解决有限仿真资源条件下的测试床构建难点问题,从而达到大幅度降低测试床构建成本和测试任务运行时间复杂性等经济效益,本发明可以在保持节点度分布、聚类系数和路径长度等重要拓扑属性稳定即近似保持不变的前提下,大比例地缩减计算机网络测试床二分图拓扑结构的规模,规模缩减率可以达到96%以上。

附图说明

[0048] 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:

[0049] 图1所示为计算机网络中子网与子网之间的二分图拓扑连接关系图;

[0050] 图2所示为计算机网络测试床二分图拓扑结构大比例规模缩减技术方案的流程图。

具体实施方式

[0051] 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。

[0052] 如图1所示为计算机网络中子网与子网之间的二分图拓扑连接关系图,其中,节点为服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站等网络设备,边为网络设备之间数据通信的路径,下面结合图1来阐述根据本公开的实施方式的一种测试床拓扑结构的二分图采样方法。

[0053] 在计算机网络的多样化拓扑连接关系中,二分图拓扑结构是一种广泛存在的连接模式。如图1所示,当需要对子网1与子网2之间拓扑连接关系的合理性进行测试与评估时,在仿真的计算机网络测试床上需要配置子网1与子网2之间的二分图拓扑结构。

[0054] 二分图拓扑结构具有以下特征：将子网1和子网2分别采用集合 V_1 和集合 V_2 表示，集合 V_1 中任意两个节点之间都不存在边连接关系，且集合 V_2 中任意两个节点之间也不存在边连接关系。即，计算机网络二分图拓扑结构中每条边的两个端点必定分别属于集合 V_1 和集合 V_2 。此外，集合 V_1 和集合 V_2 中每个节点的度都远小于二分图拓扑包含的节点总数，即集合 V_1 和集合 V_2 中每个节点的度不随着二分图拓扑包含节点总数的增长而变化。

[0055] 节点的度被定义为二分图拓扑中与该节点相邻的边的总数。

[0056] 虽然已有图采样技术已被应用于测试床拓扑结构的规模缩减，但是这些技术的应用范围广泛，没有考虑计算机网络二分图拓扑独有的结构特征，难以在保持重要拓扑属性稳定性的条件下达到70%以上的规模缩减率。

[0057] 规模缩减率被定义为：规模缩减过程删除的节点数占原始拓扑中节点数的比率。

[0058] 因此，本发明关注于计算机网络测试床独有的二分图拓扑结构，采用二分图采样技术，能够在保持重要拓扑属性稳定性的条件下实现测试床拓扑96%以上的规模缩减率。依据压缩规模后的拓扑结构，在小规模测试床上配置拓扑连接关系，可以实现真实大规模计算机网络拓扑在小规模测试床的等效部署。

[0059] 计算机网络二分图拓扑结构可以采用简单无向图 $G = (V_1, V_2, E)$ 进行建模，其中 V_1 和 V_2 为节点集， E 为边集，且边集 E 中每条边的两个端点必定分别属于 V_1 和 V_2 。本发明的目标是要得到一个规模大比例缩减的简单无向图 G' ，要求 G 和 G' 在以下重要的二维拓扑属性上保持相似：

[0060] 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。

[0061] 聚类系数二维属性 $C(d)_{vs.d}$ ：

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 拓扑结构是表征测试床节点规模的主要特征。因此，本发明将采用二分图采样方法，设计计算机网络测试床二分图拓扑结构的大比例规模缩减技术，在维持拓扑属性稳定不变的前提条件下大比例降低测试床构建所需的仿真资源节点数量，解决有限仿真资源条件下的测试床构建难点问题，从而达到大幅度降低测试床构建成本和测试任务运行时间复杂性等经济效益。

[0066] 符号定义： $||S||$ 表示集合 S 的势，即集合 S 包含元素的总数。

- [0067] $x \leftarrow y$ 表示将右边的函数或数值 y 赋值给左边的变量 x 。
- [0068] d_v 表示节点 v 在二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中的度。
- [0069] $\exists$ 表示逻辑“存在”。
- [0070] $\wedge$ 表示逻辑“与”； $A \wedge B$ 表示 A 与 B 均成立，或 A 成立且 B 成立。
- [0071] $\in$ 表示逻辑“属于”。
- [0072] $\notin$ 表示逻辑“不属于”。
- [0073] $G = (V_1, V_2, E)$ 表示输入的计算机网络二分图拓扑结构。
- [0074] R_R 表示需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 中删除的边的比率，其等于需要从二分图 G 中删除的节点的比率，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。
- [0075] $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 表示计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ 的采样子图，其最终状态表示规模缩减率达到 R_R 的规模缩减采样二分图。
- [0076] $d_1, d_2, \dots, d_s$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_1 包含所有节点的不相互重复的度，其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ 。
- [0077] $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_s)$ 表示二分图拓扑结构 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。
- [0078] $d_{\max}$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度。
- [0079] $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 的度分布，即 $g(d)$ 被定义为节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率。
- [0080] $E_d = |E| \cdot R_R$ 表示从输入到输出需要删除的边的总数。
- [0081] $S = \{v \mid v \in V'_1 \wedge d_v \notin \{d_1, d_2, \dots, d_s\}\}$ 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。
- [0082] (v, w) ：如果 v 和 w 为两个节点，则 (v, w) 表示连接这两个节点 v 和 w 的一条边。
- [0083] $\{(v, w) \mid \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$ 表示存在节点集 V'_2 中的一个节点 w 使得边 $(v, w) \in E'$ 成立的全部边 (v, w) 构成的集合。
- [0084] $\{(v, w) \mid v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$ 表示满足节点 v 属于节点集 V'_1 且节点 w 属于节点集 V'_2 且边 (v, w) 属于边集 E' 且节点 v 的度 d_v 等于 d 的全部边 (v, w) 构成的集合。
- [0085] $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ 表示将集合 D 中使得 $g'(d) - g(d)$ 最大值的 d 的取值赋值给 d^h ，其中 $d \in D$ 。
- [0086] $D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$ 表示以二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中节点度 d_w 为元素的集合，其中节点 w 满足以下要求：节点 w 属于节点集 V'_2 且存在节点集 V'_1 中的一个节点 v 使得边 (v, w) 属于集合 E_o 。
- [0087] $E_a = \{(v, w) \mid (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$ 表示满足以下条件的全部边 (v, w) 构成的集合，条件为：
- [0088] 边 (v, w) 属于集合 E_o 且节点 w 在二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中的度等于 d^h 。
- [0089] $E' / \{e\}$ 表示从集合 E' 中删除一条边 e 。
- [0090] $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ 表示二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中节点集 V'_2 的度分布，即

$g'(d)$ 被定义为节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率。

[0091] $\sum_{i=1}^k f(d_i)$ 表示 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_k)$ 的求和。

[0092] 本发明的一种实施例的技术方案的流程如图2所示。具体的流程和步骤为：

[0093] 输入：计算机网络二分图拓扑结构 $G = (V_1, V_2, E)$ ，其中 V_1 和 V_2 为节点集且 E 为边集；规模缩减率 R_R ；缺省情况下 R_R 的取值为 0.96；

[0094] 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。

[0095] 输出：规模缩减率达到 R_R 的规模缩减采样二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 。

[0096] 方法的流程与步骤：

[0097] 步骤1，获取二分图拓扑结构 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，其中 $d_1 > d_2 > \dots > d_s > 0$ 且 s 为一个正整数。

[0098] 步骤2，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；

[0099] 步骤3，获取二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$ ；

[0100] 步骤4，获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ ，其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $|V_2|$ 的比率；

[0101] 步骤5，初始化二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E') \leftarrow G = (V_1, V_2, E)$ ；

[0102] 步骤6，初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ ；

[0103] 步骤7，初始化变量 $t \leftarrow 0$ ，并计算需要删除边的总数 $E_d = |E| \cdot R_R$ ；

[0104] 步骤8，如果 $t < E_d$ ，转步骤9；否则，当前状态 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 为最终输出结果，转步骤15；

[0105] 步骤9，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 ，并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) \mid \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$ ；

[0106] 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 $f(d_i)$ ($i=1, 2, \dots, s$) 在步骤2已获得，并计算得到边的集合

$E_o = \{(v, w) \mid v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$ ；

[0107] 步骤10，计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$ ，其中 $D = \{d_w \mid w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$ ；

[0108] 步骤11，计算集合 E_o 的一个子集： $E_a = \{(v, w) \mid (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$ ；

[0109] 步骤12，从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边 e ，

[0110] 将该边从二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中删除，即更新 $E' \leftarrow E' \setminus \{e\}$ ，同时更新二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 的节点集 V'_1 和 V'_2 ：将节点集 V'_1 和 V'_2 中度为 0 的节点删除；

[0111] 步骤13，更新节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1, 2, \dots, d_{\max}\}$ ，其中 $g'(d)$ ($d=1, 2, \dots, d_{\max}$) 为节点集 V'_2 中度为 d 的节点数与 $|V'_2|$ 的比率；

[0112] 步骤14，更新 $t \leftarrow t+1$ ，转步骤8；

[0113] 步骤15,依据输出的采样二分图 $G'=(V'_1,V'_2,E')$ 在计算机网络测试床上调用服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站等仿真节点资源,生成测试床的仿真拓扑结构。

[0114] 实施例以计算机网络测试床二分图拓扑结构上的组播路由协议测试任务为案例。选择该任务需求的原因在于组播路由协议测试指标对测试床拓扑结构的变化比较敏感。实施例从Stanford网络数据池(网址<http://snap.stanford.edu/data/>)和ITDK工程(网址<http://www.caida.org/>)提供的三个真实世界国际互联网探测数据中抽取测试任务关注的二分图拓扑结构为原始拓扑。

[0115] 这三个原始拓扑分别来源于AS-733(2000年01月探测)、AS-Caida(2007年11月探测)和ITDK(2017年02月探测)。

[0116] 测试任务验证结果

[0117] 拓扑属性验证结果:

[0118] 本发明的技术针对来源于真实世界数据的三个二分图拓扑结构,都可以在保证节点度分布、聚类系数和路径长度分布等重要拓扑属性近似稳定不变的前提下,实现96%以上的节点规模缩减。

[0119] 组播路由协议测试验证结果:

[0120] 针对上述来源于真实世界数据的三个二分图拓扑结构,依据本发明技术采样得到的小规模拓扑结构(节点规模缩减率大于96%),在计算机网络测试床上配置拓扑连接关系。通过实验对比验证得到:在小规模测试床上组播路由协议的测试结论与在大规模真实网络上组播路由协议的运行效果基本保持一致。

[0121] 本公开还提供了一种测试床拓扑结构的二分图采样装置,所述装置包括:

[0122] 第一单元,用于获取计算机网络二分图拓扑结构 $G=(V_1,V_2,E)$ 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,其中 $d_1>d_2>\dots>d_s>0$, V_1 和 V_2 为二分图拓扑结构 G 的节点集且 E 为 G 的边集, s 为大于0的正整数,并用于设定规模缩减率 R_R ,其被定义为需要从计算机网络二分图拓扑结构 $G=(V_1,V_2,E)$ 中删除的边数与 $||E||$ 的比率,其中 $||E||$ 表示集合 E 的势,集合 E 的势为边集 E 包含元素的总数;缺省情况下 R_R 的取值为0.96;

[0123] 第二单元,用于计算节点度 $d_1,d_2,\dots,d_s$ 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;

[0124] 第三单元,用于获取二分图拓扑结构 G 中节点集 V_2 包含所有节点的最大度 $d_{\max}$;

[0125] 第四单元,用于获取节点集 V_2 的度分布 $\{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$,其中 $g(d)$ 表示节点集 V_2 中度为 d 的节点数与 $||V_2||$ 的比率;

[0126] 第五单元,用于初始化二分图 $G'=(V'_1,V'_2,E') \leftarrow G=(V_1,V_2,E)$;

[0127] 第六单元,用于初始化节点度分布 $\{g'(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\} \leftarrow \{g(d) \mid d=1,2,\dots,d_{\max}\}$;

[0128] 第七单元,用于初始化变量 $t \leftarrow 0$,并计算需要删除边的总数 $E_d = ||E|| \cdot R_R$;

[0129] 第八单元,用于判断如果 $t < E_d$,转第九单元;否则,当前状态 $G'=(V'_1,V'_2,E')$ 为最终输出结果,转第十五单元;

[0130] 第九单元,用于计算集合 $S = \{v \mid v \in V'_1 \wedge d_v \notin \{d_1,d_2,\dots,d_s\}\}$,如果 $||S|| > 0$,任意选

择集合S中一个节点v,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | \exists w \in V'_2, (v, w) \in E'\}$;

[0131] 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 $f(d_i)$ ($i=1,2,\dots,s$) 在第二单元已获得,并计算得到边的集合 $E_o = \{(v, w) | v \in V'_1 \wedge w \in V'_2 \wedge (v, w) \in E' \wedge d_v = d\}$;

[0132] 第十单元,用于计算 $d^h = \arg \max_{d \in D} \{g'(d) - g(d)\}$, 其中 $D = \{d_w | w \in V'_2 \wedge \exists v \in V'_1, (v, w) \in E_o\}$;

[0133] 第十一单元,用于计算集合 E_o 的一个子集: $E_a = \{(v, w) | (v, w) \in E_o \wedge d_w = d^h\}$;

[0134] 第十二单元,用于从集合 E_o 中均等概率分布地抽取一条边e,

[0135] 将该边从二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 中删除,即更新 $E' \leftarrow E' / \{e\}$, 同时更新二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 的节点集 V'_1 和 V'_2 : 将节点集 V'_1 和 V'_2 中度为0的节点删除;

[0136] 第十三单元,用于更新节点度分布 $\{g'(d) | d=1,2,\dots,d_{\max}\}$, 其中 $g'(d)$ ($d=1,2,\dots,d_{\max}$) 为节点集 V'_2 中度为d的节点数与 $|V'_2|$ 的比率;

[0137] 第十四单元,用于更新 $t \leftarrow t+1$, 转第八单元;

[0138] 第十五单元,用于依据输出的采样二分图 $G' = (V'_1, V'_2, E')$ 在计算机网络测试床上调用服务器、路由器、传感器网络节点、无线通信基站等仿真节点资源,生成测试床的仿真拓扑结构。

[0139] 所述一种测试床拓扑结构的二分图采样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。所述一种测试床拓扑结构的二分图采样装置,可运行的装置可包括,但不仅限于,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测试床拓扑结构的二分图采样装置的示例,并不构成对一种测试床拓扑结构的二分图采样装置的限定,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,例如所述一种测试床拓扑结构的二分图采样装置还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0140] 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测试床拓扑结构的二分图采样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测试床拓扑结构的二分图采样装置可运行装置的各个部分。

[0141] 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,实现所述一种测试床拓扑结构的二分图采样装置的各种功能。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。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。

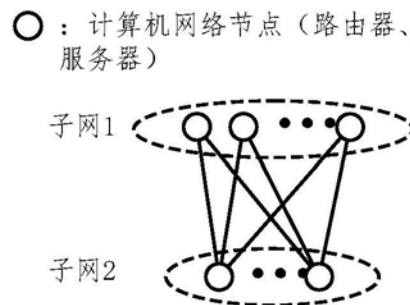


图1

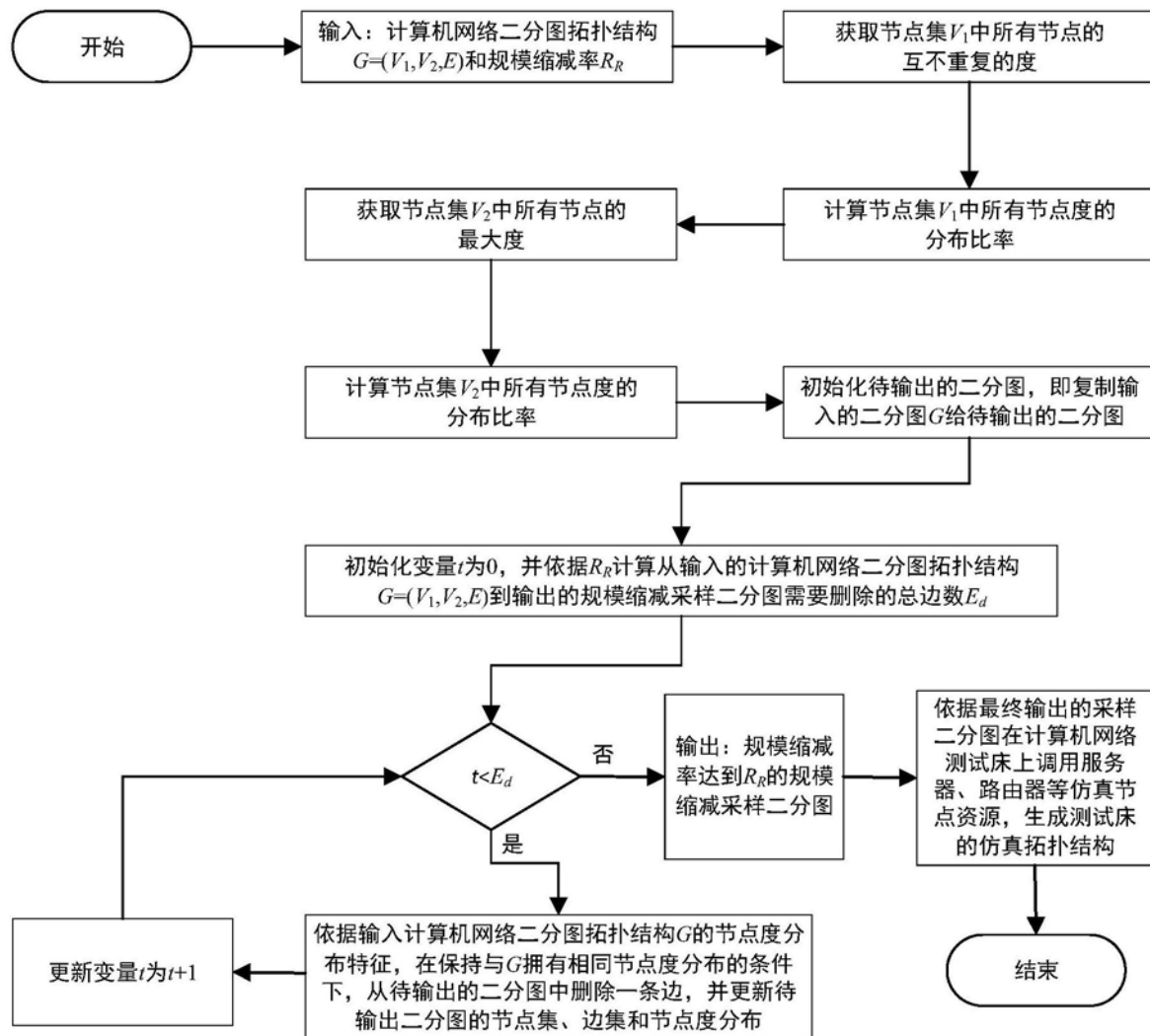


图2