



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108880872 B

(45) 授权公告日 2021.03.30

(21) 申请号 201810564523.7

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 106462990 A, 2017.02.22

申请公布号 CN 108880872 A

CN 104521160 A, 2015.04.15

(43) 申请公布日 2018.11.23

US 2015381334 A1, 2015.12.31

(73) 专利权人 佛山科学技术学院

US 2014281026 A1, 2014.09.18

地址 528000 广东省佛山市南海区狮山镇
仙溪水库西路佛山科学技术学院

jinzhou Zeng, Fangyuan Li. Distributed
event-triggered bipartite consensus for
multiple agents over signed graph
topology.《2015 34th Chinese Control
Conference》.2015, 全文.

(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

审查员 李嵩

(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)

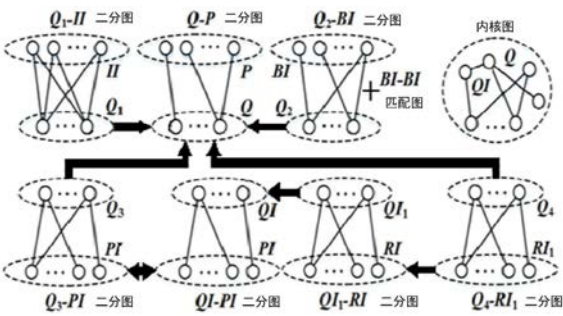
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种互联网测试床拓扑结构分解方法及装
置

(57) 摘要

本发明给出了一种互联网测试床拓扑结构分解方法及装置,可以精确定义互联网拓扑结构,能够清晰地区分互联网拓扑结构与其它网络系统之间的差异性。本发明的目标是要将互联网拓扑图G中节点和边分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图,并给出这些分解子图之间的相互关联性,可解决互联网测试床拓扑结构的仿真生成问题,解决测试床上仿真单元,例如,虚拟机、实物计算设备等之间拓扑连接关系配置的难题,从而实现测试床逼真构建,提升测试床上测试任务测试结论可信度,达到测试规模缩减带来的建设成本缩减等经济效益,相对于真实世界互连网络拓扑结构的分解精度不低于98%。



1. 一种互联网测试床拓扑结构分解方法,其特征在于:互联网测试床拓扑结构被分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图,该方法包括以下步骤:

步骤1,获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据,并以简单无向图 $G=(V,E)$ 建模自治系统级互联网拓扑结构,其中集合 V 中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合 E 中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径;

步骤2,计算节点集 $P=\{v \in V \mid d_v=1\}$;

步骤3,计算节点集 $Q=\{v \in V \mid \exists w, (v,w) \in E, w \in P\}$;

步骤4,计算节点集 $PI=\{v \in V_I \mid d_I(v)=1 \wedge \forall (v,w) \in E_I, d_I(w)>1\}$;

步骤5,计算节点集 $QI=\{v \in V_I \mid \exists w, (v,w) \in E_I, w \in PI\}$;

步骤6,计算节点集 $RI=\{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v,w) \in E_I, w \in QI\}$;

步骤7,计算节点集 $BI=\{v \in V_I \mid d_I(v)=1 \wedge \forall (v,w) \in E_I, d_I(w)=1\}$;

步骤8,计算节点集 $II=\{v \in V_I \mid d_I(v)=0\}$;

步骤9,构建二分图 $G_{Q_1-II}=(II, Q_1, E_{Q_1-II})$;

步骤10,构建二分图 $G_{Q_2-BI}=(BI, Q_2, E_{Q_2-BI})$;

步骤11,构建二分图 $G_{QI_1-RI}=(RI, QI_1, E_{QI_1-RI})$;

步骤12,构建二分图 $G_{Q_4-RI_1}=(RI_1, Q_4, E_{Q_4-RI_1})$;

步骤13,构建二分图 $G_{QI-P_1}=(QI, P_1, E_{QI-P_1})$;

步骤14,构建二分图 $G_{Q_3-PI}=(PI, Q_3, E_{Q_3-PI})$;

步骤15,构建二分图 $G_{Q-P}=(Q, P, E_{Q-P})$;

步骤16,构建匹配图 $G_{BI-BI}=(BI, E_{BI-BI})$;

步骤17,构建内核图 $G_{Core}=(V_{Core}, E_{Core})$;

在步骤9中,所述 II 和 $Q_1=\{v \in Q \mid \exists w \in II, (v,w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的两个节点集,且 $E_{Q_1-II}=\{e=(v,w) \mid e \in E \wedge v \in II \wedge w \in Q_1\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的边集;

在步骤10中,所述 BI 和 $Q_2=\{v \in Q \mid \exists w \in BI, (v,w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的两个节点集,且 $E_{Q_2-BI}=\{e=(v,w) \mid e \in E \wedge v \in BI \wedge w \in Q_2\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的边集;

在步骤11中,所述 RI 和 $QI_1=\{v \in QI \mid \exists w \in RI, (v,w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的两个节点集,且 $E_{QI_1-RI}=\{e=(v,w) \mid e \in E \wedge v \in RI \wedge w \in QI_1\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的边集;

在步骤12中,所述 $RI_1=\{w \in RI \mid \exists v \in Q, (v,w) \in E\}$ 和 $Q_4=\{v \in Q \mid \exists w \in RI, (v,w) \in E\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的两个节点集,且 $E_{Q_4-RI_1}=\{e=(v,w) \mid e \in E \wedge v \in RI_1 \wedge w \in Q_4\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的边集;

在步骤13中,所述 QI 和 P_1 为二分图 G_{QI-P_1} 的两个节点集,且 $E_{QI-P_1}=\{e=(v,w) \mid e \in E \wedge v \in P_1 \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-P_1} 的边集;

在步骤14中,所述PI和 $Q_3 = \{v \in Q \mid \exists w \in PI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的两个节点集,且 $E_{Q_3-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in Q_3\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的边集;

在步骤15、步骤16、步骤17中,所述Q和P为二分图 G_{Q-P} 的两个节点集,且 $E_{Q-P} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in P \wedge w \in Q\}$ 为二分图 G_{Q-P} 的边集;BI为匹配图 G_{BI-BI} 的节点集,且 $E_{BI-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in BI\}$ 为匹配图 G_{BI-BI} 的边集; $V_{Core} = Q \cup QI$ 为内核图 G_{Core} 的节点集,且 $E_{Core} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in V_{Core}\}$ 为内核图 G_{Core} 的边集。

2. 根据权利要求1所述的一种互联网测试床拓扑结构分解方法,其特征在于,在步骤1中,所述自治系统是指互联网中有权自主确定在本系统中应采用何种路由协议的小型单位。

3. 一种互联网测试床拓扑结构分解装置,其特征在于,互联网测试床拓扑结构被分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图,所述装置包括:

第一单元,用于获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据,并以简单无向图 $G = (V, E)$ 建模自治系统级互联网拓扑结构,其中集合V中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合E中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径;

第二单元,用于计算节点集 $P = \{v \in V \mid d_v = 1\}$;

第三单元,用于计算节点集 $Q = \{v \in V \mid \exists w, (v, w) \in E, w \in P\}$;

第四单元,用于计算节点集 $PI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) > 1\}$;

第五单元,用于计算节点集 $QI = \{v \in V_I \mid \exists w, (v, w) \in E_I, w \in PI\}$;

第六单元,用于计算节点集 $RI = \{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v, w) \in E_I, w \in QI\}$;

第七单元,用于计算节点集 $BI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) = 1\}$;

第八单元,用于计算节点集 $II = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 0\}$;

第九单元,用于构建二分图 $G_{Q_1-II} = (II, Q_1, E_{Q_1-II})$;

第十单元,用于构建二分图 $G_{Q_2-BI} = (BI, Q_2, E_{Q_2-BI})$;

第十一单元,用于构建二分图 $G_{QI-RI} = (RI, QI, E_{QI-RI})$;

第十二单元,用于构建二分图 $G_{Q_4-RI} = (RI, Q_4, E_{Q_4-RI})$;

第十三单元,用于构建二分图 $G_{QI-PI} = (QI, PI, E_{QI-PI})$;

第十四单元,用于构建二分图 $G_{Q_3-PI} = (PI, Q_3, E_{Q_3-PI})$;

第十五单元,用于构建二分图 $G_{Q-P} = (Q, P, E_{Q-P})$;

第十六单元,用于构建匹配图 $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$;

第十七单元,用于构建内核图 $G_{Core} = (V_{Core}, E_{Core})$;

其中,所述II和 $Q_1 = \{v \in Q \mid \exists w \in II, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的两个节点集,且 $E_{Q_1-II} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in II \wedge w \in Q_1\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的边集;

所述BI和 $Q_2 = \{v \in Q \mid \exists w \in BI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的两个节点集, 且
 $E_{Q_2-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in BI \wedge w \in Q_2\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的边集;

所述RI和 $QI_1 = \{v \in QI \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的两个节点集, 且
 $E_{QI_1-RI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI \wedge w \in QI_1\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的边集;

所述 $RI_1 = \{w \in RI \mid \exists v \in Q, (v, w) \in E\}$ 和 $Q_4 = \{v \in Q \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的两个节点集, 且 $E_{Q_4-RI_1} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI_1 \wedge w \in Q_4\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的边集;

所述QI和PI为二分图 G_{QI-PI} 的两个节点集, 且为 $E_{QI-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-PI} 的边集;

所述PI和 $Q_3 = \{v \in Q \mid \exists w \in PI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的两个节点集, 且
 $E_{Q_3-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in Q_3\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的边集;

所述Q和P为二分图 G_{Q-P} 的两个节点集, 且 $E_{Q-P} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in P \wedge w \in Q\}$ 为二分图 G_{Q-P} 的边集; BI为匹配图 G_{BI-BI} 的节点集, 且 $E_{BI-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in BI\}$ 为匹配图 G_{BI-BI} 的边集; $V_{Core} = Q \cup QI$ 为内核图 G_{Core} 的节点集, 且 $E_{Core} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in V_{Core}\}$ 为内核图 G_{Core} 的边集。

一种互联网测试床拓扑结构分解方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及互联网拓扑领域,特别是涉及一种互联网测试床拓扑结构分解方法及装置。

背景技术

[0002] 路由协议、资源定位等互联网技术的开发、测试与评估,需要构建相应的仿真测试环境。面对真实互联网每年快速增长的庞大节点规模,相应测试床的构建必须采用规模缩减的方式,以实现构建成本的缩减以及仿真资源利用效率和测试时间运行效率的提高。为了实现互联网测试床拓扑结构的大比例规模缩减,必须首先给出互联网拓扑结构的精确表示方法。现有互联网拓扑结构的表示方法包括节点度幂律、层次结构、高密度核三个方面。节点度幂律是指互连网络拓扑图中节点度的分布服从幂律分布;层次结构是指互联网拓扑图中节点可以被定性地划分至内核、外围等多个层次;高密度核是指互联网拓扑图中骨干网(内核)节点之间存在高密度的连接关系。现有方法难以给出互联网拓扑结构的精确表示:例如,节点度幂律和层次结构不仅能够描述互联网拓扑,还能够描述社交网络、交通网络等广泛的网络系统,而高密度核仅是互连网络拓扑的局部特征,其没有描述内核之外其它节点的连接关系。

发明内容

[0003] 本公开的目的是针对现有技术的不足,本发明给出了一种互联网测试床拓扑结构分解方法及装置,其可以精确定义互联网拓扑结构,能够清晰地区分互联网拓扑结构与其它网络系统之间的差异性。自治系统级互联网拓扑可以采用简单无向图 $G=(V,E)$ 进行建模,其中 V 和 E 分别为节点集和边集,图 G 中每个节点的物理意义是指互联网拓扑中的一个自治系统,每条边的物理意义是指两个自治系统之间的一条数据通信路径,所述自治系统是指互联网中有权自主确定在本系统中应采用何种路由协议的小型单位,所述自治系统级互联网拓扑是指以互联网中的自治系统为节点、自治系统之间的通信路径为边的简单无向图。本发明的目标是要将互联网拓扑图 G 中节点和边分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图,并给出这些分解子图之间的相互关联性,要求分解精度不低于98%。

[0004] 为了实现上述目的,本公开提出一种互联网测试床拓扑结构分解方法,具体包括以下步骤:

[0005] 步骤1,获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据,并以简单无向图 $G=(V,E)$ 建模自治系统级互联网拓扑结构,其中集合 V 中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合 E 中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径;

[0006] 步骤2,计算节点集 $P=\{v \in V \mid d_v=1\}$;

[0007] 步骤3,计算节点集 $Q=\{v \in V \mid \exists w, (v,w) \in E, w \in P\}$;

[0008] 步骤4,计算节点集 $PI=\{v \in V \mid d_I(v)=1 \wedge \forall (v,w) \in E, d_I(w)>1\}$;

[0009] 步骤5, 计算节点集 $QI = \{v \in V_I \mid \exists w, (v, w) \in E_I, w \in PI\}$;

[0010] 步骤6, 计算节点集 $RI = \{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v, w) \in E_I, w \in QI\}$;

[0011] 步骤7, 计算节点集 $BI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) = 1\}$;

[0012] 步骤8, 计算节点集 $II = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 0\}$;

[0013] 步骤9, 构建二分图 $G_{QI-II} = (II, QI, E_{QI-II})$;

[0014] 步骤10, 构建二分图 $G_{QI-BI} = (BI, QI, E_{QI-BI})$;

[0015] 步骤11, 构建二分图 $G_{RI-QI} = (RI, QI, E_{RI-QI})$;

[0016] 步骤12, 构建二分图 $G_{QI-RI} = (RI, QI, E_{QI-RI})$;

[0017] 步骤13, 构建二分图 $G_{QI-PI} = (QI, PI, E_{QI-PI})$;

[0018] 步骤14, 构建二分图 $G_{QI-PI} = (PI, QI, E_{QI-PI})$;

[0019] 步骤15, 构建二分图 $G_{Q-P} = (Q, P, E_{Q-P})$;

[0020] 步骤16, 构建匹配图 $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$;

[0021] 步骤17, 构建内核图 $G_{Core} = (V_{Core}, E_{Core})$ 。

[0022] 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。

[0023] 分解精度定义: 互联网拓扑结构中被分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图的节点数占据该拓扑结构中全部节点总数的比率。

[0024] 进一步地, 在步骤1中, 所述自治系统是指互联网中有权自主确定在本系统中应采用何种路由协议的小型单位。其中, 自治系统是指互联网中有权自主确定在本系统中应采用何种路由协议的小型单位。自治系统级互联网拓扑是指以互联网中的自治系统为节点、自治系统之间的通信路径为边的简单无向图。

[0025] 节点度幂律的定义为:

[0026] 设简单无向图 $G = (V, E)$, 其中 V 为节点集、 E 为边集, 并设 $f(d)$ 表示图 G 中 degree 为 d 的节点比率, 则节点度幂律分布是指 $f(d)$ 与 d 之间的关系满足: $f(d) = 0 \cdot d^{-\gamma}$ 其中, 0 和 γ 为恒定的常数, $\gamma > 0$ 被称作幂指数。

[0027] 进一步地, 在步骤9中, 所述 II 和 $QI = \{v \in Q \mid \exists w \in II, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI-II} 的两个节点集, 且 $E_{QI-II} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in II \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-II} 的边集。

[0028] 进一步地, 在步骤10中, 所述 BI 和 $QI = \{v \in Q \mid \exists w \in BI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI-BI} 的两个节点集, 且 $E_{QI-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in BI \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-BI} 的边集。

[0029] 进一步地, 在步骤11中, 所述 RI 和 $QI = \{v \in QI \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI-RI} 的两个节点集, 且 $E_{QI-RI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-RI} 的边集。

[0030] 进一步地,在步骤12中,所述 $RI_1 = \{w \in RI \mid \exists v \in Q, (v, w) \in E\}$ 和 $Q_4 = \{v \in Q \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的两个节点集,且 $E_{Q_4-RI_1} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI_1 \wedge w \in Q_4\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的边集。

[0031] 进一步地,在步骤13中,所述QI和PI为二分图 G_{QI-PI} 的两个节点集,且 $E_{QI-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-PI} 的边集。

[0032] 进一步地,在步骤14中,所述PI和 $Q_3 = \{v \in Q \mid \exists w \in PI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的两个节点集,且 $E_{Q_3-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in Q_3\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的边集。

[0033] 进一步地,在步骤15中,所述Q和P为二分图 G_{Q-P} 的两个节点集,且 $E_{Q-P} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in P \wedge w \in Q\}$ 为二分图 G_{Q-P} 的边集。

[0034] 进一步地,在步骤16中,BI为匹配图 G_{BI-BI} 的节点集,且 $E_{BI-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in BI\}$ 为匹配图 G_{BI-BI} 的边集。

[0035] 进一步地,在步骤17中, $V_{Core} = Q \cup QI$ 为内核图 G_{Core} 的节点集,且 $E_{Core} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in V_{Core}\}$ 为内核图 G_{Core} 的边集。

[0036] 本公开还提供了一种互联网测试床拓扑结构分解装置,所述装置包括:

[0037] 第一单元,用于获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据,并以简单无向图 $G = (V, E)$ 建模自治系统级互联网拓扑结构,其中集合V中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合E中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径;

[0038] 第二单元,用于计算节点集 $P = \{v \in V \mid d_v = 1\}$;

[0039] 第三单元,用于计算节点集 $Q = \{v \in V \mid \exists w, (v, w) \in E, w \in P\}$;

[0040] 第四单元,用于计算节点集 $PI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) > 1\}$;

[0041] 第五单元,用于计算节点集 $QI = \{v \in V_I \mid \exists w, (v, w) \in E_I, w \in PI\}$;

[0042] 第六单元,用于计算节点集 $RI = \{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v, w) \in E_I, w \in QI\}$;

[0043] 第七单元,用于计算节点集 $BI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) = 1\}$;

[0044] 第八单元,用于计算节点集 $II = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 0\}$;

[0045] 第九单元,用于构建二分图 $G_{Q_1-II} = (II, Q_1, E_{Q_1-II})$;

[0046] 第十单元,用于构建二分图 $G_{Q_2-BI} = (BI, Q_2, E_{Q_2-BI})$;

[0047] 第十一单元,用于构建二分图 $G_{QI_1-RI} = (RI, QI_1, E_{QI_1-RI})$;

[0048] 第十二单元,用于构建二分图 $G_{Q_4-RI_1} = (RI_1, Q_4, E_{Q_4-RI_1})$;

[0049] 第十三单元,用于构建二分图 $G_{QI-PI} = (QI, PI, E_{QI-PI})$;

[0050] 第十四单元,用于构建二分图 $G_{Q_3-PI} = (PI, Q_3, E_{Q_3-PI})$;

[0051] 第十五单元,用于构建二分图 $G_{Q-P} = (Q, P, E_{Q-P})$;

[0052] 第十六单元,用于构建匹配图 $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$;

[0053] 第十七单元,用于构建内核图 $G_{\text{Core}} = (V_{\text{Core}}, E_{\text{Core}})$ 。

[0054] 本公开的有益效果为:本发明可以将互联网拓扑图中节点和边分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图,其可解决互联网测试床拓扑结构的仿真生成问题,解决测试床上仿真单元,例如,虚拟机、实物计算设备等之间拓扑连接关系配置的难题,从而实现测试床逼真构建,提升测试床上测试任务测试结论可信度,达到测试规模缩减带来的建设成本缩减等经济效益,相对于真实世界互联网络拓扑结构的分解精度不低于98%。

附图说明

[0055] 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:

[0056] 图1所示为本公开的一种互联网测试床拓扑结构分解方法流程图;

[0057] 图2所示为本公开实施例的互联网测试床拓扑结构分解获得七个二分图、一个匹配图和一个内核图。

具体实施方式

[0058] 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。

[0059] 如图1所示为根据本公开的一种互联网测试床拓扑结构分解方法的流程图,下面结合图1来阐述根据本公开的实施方式的一种互联网测试床拓扑结构分解方法。

[0060] 互联网测试床拓扑结构的仿真生成,必须依赖真实世界互联网的拓扑结构。本发明依据真实世界互联网的拓扑结构,设计互联网测试床的拓扑结构分解方法,该方法是实现测试床拓扑结构大比例规模缩减的一项关键技术,其可解决互联网测试床拓扑结构的仿真生成问题,解决测试床上仿真单元(例如,虚拟机、实物计算设备等)之间拓扑连接关系配置的难题,从而实现测试床逼真构建,提升测试床上测试任务测试结论可信度,达到测试规模缩减带来的建设成本缩减等经济效益。

[0061] 符号定义:

[0062] $\in$:逻辑“属于”;

[0063] $\exists$:逻辑“存在”;

[0064] $\forall$:逻辑“任意”;

[0065] $\wedge$:逻辑“与”;

[0066] $\cup$:集合之间的并集;

[0067] $\cap$:集合之间的交集;

[0068] $\subseteq$:集合之间的被包含关系;

[0069] A/B :从集合A中删除所有属于集合B的元素;

[0070] $G = (V, E)$:表征互联网拓扑结构的简单无向图, V 和 E 分别为节点集和边集;

- [0071] d_v : 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中节点 v 的度;
- [0072] 节点的度: 图中与该节点相邻边的总数;
- [0073] $P=\{v \in V | d_v=1\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中度为1的全部节点构成的集合;
- [0074] (v,w) : 如果 v 和 w 为两个节点, 则 (v,w) 表示连接这两个节点的一条边;
- [0075] $Q=\{v \in V | \exists w, (v,w) \in E, w \in P\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中与集合 P 中节点相邻的全部节点构成的集合;
- [0076] $G_I=(V_I, E_I)$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中由节点集 $R(G)=V/(P \cup Q)$ 和两个端点均属于 $R(G)$ 的所有边构成边集生成的子图, V_I, E_I 分别为子图 G_I 的节点集和边集;
- [0077] $d_I(v)$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中节点 v 的度;
- [0078] $d_I(w)$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中节点 w 的度;
- [0079] $PI=\{v \in V_I | d_I(v)=1 \wedge \forall (v,w) \in E_I, d_I(w)>1\}$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中所有度为1且相邻节点的度都大于1的节点构成的集合;
- [0080] $QI=\{v \in V_I | \exists w, (v,w) \in E_I, w \in PI\}$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中与集合 PI 中节点相邻的全部节点构成的集合;
- [0081] $RI=\{v \in V_I | d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v,w) \in E_I, w \in QI\}$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中所有度不小于2且相邻节点都属于集合 QI 的节点构成的集合;
- [0082] $BI=\{v \in V_I | d_I(v)=1 \wedge \forall (v,w) \in E_I, d_I(w)=1\}$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中度为1且相邻节点的度也为1的全部节点构成的集合;
- [0083] $II=\{v \in V_I | d_I(v)=0\}$: 子图 $G_I=(V_I, E_I)$ 中所有度为0的节点构成的集合;
- [0084] $G_{Q_1-II}=(II, Q_1, E_{Q_1-II})$: Q_1 - II 二分图;
- [0085] $Q_1=\{v \in Q | \exists w \in II, (v,w) \in E\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中属于集合 Q 且存在一个相邻节点属于集合 II 的全部节点构成的集合;
- [0086] $E_{Q_1-II}=\{e=(v,w) | e \in E \wedge v \in II \wedge w \in Q_1\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中连接集合 II 中一个节点和集合 Q_1 中一个节点的全部边构成的集合;
- [0087] $G_{Q_2-BI}=(BI, Q_2, E_{Q_2-BI})$: Q_2 - BI 二分图;
- [0088] $Q_2=\{v \in Q | \exists w \in BI, (v,w) \in E\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中属于集合 Q 且存在一个相邻节点属于集合 BI 的全部节点构成的集合;
- [0089] $E_{Q_2-BI}=\{e=(v,w) | e \in E \wedge v \in BI \wedge w \in Q_2\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中连接集合 BI 中一个节点和集合 Q_2 中一个节点的全部边构成的集合;
- [0090] $G_{QI_1-RI}=(RI, QI_1, E_{QI_1-RI})$: QI_1 - RI 二分图;
- [0091] $QI_1=\{v \in QI | \exists w \in RI, (v,w) \in E\}$: 互联网拓扑图 $G=(V,E)$ 中属于集合 QI 且存在一个相邻节点属于集合 RI 的全部节点构成的集合;

[0092] $E_{QI-RI} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v \in RI \wedge w \in QI\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 RI 中一个节点和集合 QI_1 中一个节点的全部边构成的集合;

[0093] $G_{Q_4-RI_1} = (RI_1, Q_4, E_{Q_4-RI_1})$; Q_4 - RI_1 二分图;

[0094] $RI_1 = \{w \in RI | \exists v \in Q, (v, w) \in E\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中属于集合 RI 且存在一个相邻节点属于集合 Q 的全部节点构成的集合;

[0095] $Q_4 = \{v \in Q | \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中属于集合 Q 且存在一个相邻节点属于集合 RI 的全部节点构成的集合;

[0096] $E_{Q_4-RI_1} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v \in RI_1 \wedge w \in Q_4\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 RI_1 中一个节点和集合 Q_4 中一个节点的全部边构成的集合;

[0097] $G_{QI-PI} = (QI, PI, E_{QI-PI})$; QI - PI 二分图;

[0098] $E_{QI-PI} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in QI\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 PI 中一个节点和集合 QI 中一个节点的全部边构成的集合;

[0099] $G_{Q_3-PI} = (PI, Q_3, E_{Q_3-PI})$; Q_3 - PI 二分图;

[0100] $Q_3 = \{v \in Q | \exists w \in PI, (v, w) \in E\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中属于集合 Q 且存在一个相邻节点属于集合 PI 的全部节点构成的集合;

[0101] $E_{Q_3-PI} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in Q_3\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 PI 中一个节点和集合 Q_3 中一个节点的全部边构成的集合;

[0102] $G_{Q-P} = (Q, P, E_{Q-P})$; Q - P 二分图;

[0103] $E_{Q-P} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v \in P \wedge w \in Q\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 P 中一个节点和集合 Q 中一个节点的全部边构成的集合;

[0104] $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$; 匹配图;

[0105] $E_{BI-BI} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v, w \in BI\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 BI 中两个不同节点的全部边构成的集合;

[0106] $G_{Core} = (V_{Core}, E_{Core})$; 内核图;

[0107] $V_{Core} = Q \cup QI$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中集合 Q 和集合 QI 的并集, 即集合 Q 和集合 QI 中全部节点构成的集合;

[0108] $E_{Core} = \{e = (v, w) | e \in E \wedge v, w \in V_{Core}\}$; 互联网拓扑图 $G = (V, E)$ 中连接集合 V_{Core} 中两个不同节点的全部边构成的集合。

[0109] 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。

[0110] 分解精度定义: 互联网拓扑结构中被分解至七个二分图、一个匹配图和一个内核图的节点数占据该拓扑结构中全部节点总数的比率。

[0111] 本发明实施例的技术方案的流程如图1所示。具体的流程和步骤为:

[0112] 步骤1, 获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据, 并以简单无向图 $G = (V, E)$ 建模

自治系统级互联网拓扑结构,其中集合V中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合E中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径。

[0113] 步骤2,计算节点集 $P = \{v \in V \mid d_v = 1\}$ 。

[0114] 步骤3,计算节点集 $Q = \{v \in V \mid \exists w, (v, w) \in E, w \in P\}$ 。

[0115] 步骤4,计算节点集 $PI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) > 1\}$ 。

[0116] 步骤5,计算节点集 $QI = \{v \in V_I \mid \exists w, (v, w) \in E_I, w \in PI\}$ 。

[0117] 步骤6,计算节点集 $RI = \{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v, w) \in E_I, w \in QI\}$ 。

[0118] 步骤7,计算节点集 $BI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) = 1\}$ 。

[0119] 步骤8,计算节点集 $II = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 0\}$ 。

[0120] 步骤9,构建二分图 $G_{Q_1-II} = (II, Q_1, E_{Q_1-II})$,

[0121] 其中,II和 $Q_1 = \{v \in Q \mid \exists w \in II, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的两个节点集,且 $E_{Q_1-II} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in II \wedge w \in Q_1\}$ 为二分图 G_{Q_1-II} 的边集。

[0122] 步骤10,构建二分图 $G_{Q_2-BI} = (BI, Q_2, E_{Q_2-BI})$,

[0123] 其中,BI和 $Q_2 = \{v \in Q \mid \exists w \in BI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的两个节点集,且 $E_{Q_2-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in BI \wedge w \in Q_2\}$ 为二分图 G_{Q_2-BI} 的边集。

[0124] 步骤11,构建二分图 $G_{QI_1-RI} = (RI, QI_1, E_{QI_1-RI})$,

[0125] 其中,RI和 $QI_1 = \{v \in QI \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的两个节点集,且 $E_{QI_1-RI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI \wedge w \in QI_1\}$ 为二分图 G_{QI_1-RI} 的边集。

[0126] 步骤12,构建二分图 $G_{Q_4-RI_1} = (RI_1, Q_4, E_{Q_4-RI_1})$,其中,

[0127] $RI_1 = \{w \in RI \mid \exists v \in Q, (v, w) \in E\}$ 和 $Q_4 = \{v \in Q \mid \exists w \in RI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的两个节点集,且 $E_{Q_4-RI_1} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in RI_1 \wedge w \in Q_4\}$ 为二分图 $G_{Q_4-RI_1}$ 的边集。

[0128] 步骤13,构建二分图 $G_{QI-P} = (QI, PI, E_{QI-P})$,其中,QI和PI为二分图 G_{QI-P} 的两个节点集,且为 $E_{QI-P} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in QI\}$ 为二分图 G_{QI-P} 的边集。

[0129] 步骤14,构建二分图 $G_{Q_3-PI} = (PI, Q_3, E_{Q_3-PI})$,

[0130] 其中,PI和 $Q_3 = \{v \in Q \mid \exists w \in PI, (v, w) \in E\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的两个节点集,且 $E_{Q_3-PI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in PI \wedge w \in Q_3\}$ 为二分图 G_{Q_3-PI} 的边集。

[0131] 步骤15,构建二分图 $G_{Q-P} = (Q, P, E_{Q-P})$,其中,Q和P为二分图 G_{Q-P} 的两个节点集,且 $E_{Q-P} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v \in P \wedge w \in Q\}$ 为二分图 G_{Q-P} 的边集。

[0132] 步骤16,构建匹配图 $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$,其中,BI为匹配图 G_{BI-BI} 的节点集,且 $E_{BI-BI} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in BI\}$ 为匹配图 G_{BI-BI} 的边集。

[0133] 步骤17,构建内核图 $G_{Core} = (V_{Core}, E_{Core})$,其中 $V_{Core} = Q \cup QI$ 为内核图 G_{Core} 的节点集,且 $E_{Core} = \{e = (v, w) \mid e \in E \wedge v, w \in V_{Core}\}$ 为内核图 G_{Core} 的边集。

[0134] 其中,自治系统是指互联网中有权自主确定在本系统中应采用何种路由协议的小型单位。自治系统级互联网拓扑是指以互联网中的自治系统为节点、自治系统之间的通信路径为边的简单无向图。

[0135] 节点度幂律的定义为:

[0136] 设简单无向图 $G = (V, E)$,其中 V 为节点集、 E 为边集,并设 $f(d)$ 表示图 G 中度为 d 的节点比率,则节点度幂律分布是指 $f(d)$ 与 d 之间的关系满足: $f(d) = 0 \cdot d^{-\gamma}$ 其中, 0 和 γ 为恒定的常数, $\gamma > 0$ 被称作幂指数。

[0137] 上述步骤所分解的效果如图2所述,图2为互联网测试床拓扑结构分解获得七个二分图 Q_1-II 、 $Q-P$ 、 Q_2-BI 、 Q_3-PI 、 $QI-PI$ 、 QI_1-RI 、 Q_4-RI_1 ,一个匹配图($BI-BI$)和一个内核图,其中的箭头表示节点集之间的包含关系:箭头终端集合被包含箭头前端集合。

[0138] 图2给出了本发明分解互联网测试床拓扑结构后得到的分解子图之间关系的示意表现。由本发明的技术方案流程可知:在图2中,集合 P 中每个节点仅且必被连接至集合 Q 中的唯一节点,集合 II 中每个节点仅且必被连接至集合 Q 中的至少两个节点,集合 PI 中每个节点仅且必被连接至集合 QI 中的唯一节点和集合 Q 中的至少一个节点,集合 BI 中每个节点仅且必被连接至集合 BI 中的另外一个节点和集合 Q 中的至少一个节点,集合 RI 中每个节点仅且必被连接至集合 QI 中的至少两个节点,此外集合 QI 和集合 RI 中节点可能被连接至集合 Q 中的节点。本发明的互联网络测试床拓扑结构分解技术是测试床拓扑结构大比例规模缩减的一项关键技术。

[0139] 本发明首先从Stanford网络数据池(<http://snap.stanford.edu/data/>)和ITDK工程(<http://www.caida.org/>)中获取三个真实世界自治系统级互联网拓扑的探测数据。这三个真实世界互联网络拓扑数据分别来源于AS-733(2000年01月探测)、AS-Caida(2007年11月探测)和ITDK(2017年02月探测)。

[0140] 本发明效果:

[0141] 1、可以将上述三个真实世界互联网络拓扑精确地分解至七个二分图 Q_1-II 、 $Q-P$ 、 Q_2-BI 、 Q_3-PI 、 $QI-PI$ 、 QI_1-RI 、 Q_4-RI_1 ,一个匹配图和一个内核图。其中,分解后不属于上述七个二分图、一个匹配图和一个内核图的其它节点数占全部节点总数的比率最大值为1.9%,即分解精确高于98%。

[0142] 2、依据互联网拓扑分解结构开发的测试床拓扑结构规模缩减算法,可以实现96%以上的规模压缩率。

[0143] 本公开还提供了一种互联网测试床拓扑结构分解装置,所述装置包括:

[0144] 第一单元,用于获取真实世界互联网拓扑结构的探测数据,并以简单无向图 $G = (V, E)$ 建模自治系统级互联网拓扑结构,其中集合 V 中节点的物理意义为真实世界互联网的自治系统,集合 E 中边的物理意义为不同自治系统之间的数据通信路径;

[0145] 第二单元,用于计算节点集 $P = \{v \in V \mid d_v = 1\}$;

[0146] 第三单元,用于计算节点集 $Q = \{v \in V \mid \exists w, (v, w) \in E, w \in P\}$;

[0147] 第四单元,用于计算节点集 $PI = \{v \in V \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E, d_I(w) > 1\}$;

- [0148] 第五单元,用于计算节点集 $QI = \{v \in V_I \mid \exists w, (v, w) \in E_I, w \in PI\}$;
- [0149] 第六单元,用于计算节点集 $RI = \{v \in V_I \mid d_I(v) \geq 2 \wedge \forall (v, w) \in E_I, w \in QI\}$;
- [0150] 第七单元,用于计算节点集 $BI = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 1 \wedge \forall (v, w) \in E_I, d_I(w) = 1\}$;
- [0151] 第八单元,用于计算节点集 $II = \{v \in V_I \mid d_I(v) = 0\}$;
- [0152] 第九单元,用于构建二分图 $G_{QI-II} = (II, QI, E_{QI-II})$;
- [0153] 第十单元,用于构建二分图 $G_{QI-BI} = (BI, QI, E_{QI-BI})$;
- [0154] 第十一单元,用于构建二分图 $G_{QI-RI} = (RI, QI, E_{QI-RI})$;
- [0155] 第十二单元,用于构建二分图 $G_{QI-PI} = (PI, QI, E_{QI-PI})$;
- [0156] 第十三单元,用于构建二分图 $G_{QI-QI} = (QI, QI, E_{QI-QI})$;
- [0157] 第十四单元,用于构建二分图 $G_{QI-QI} = (QI, QI, E_{QI-QI})$;
- [0158] 第十五单元,用于构建二分图 $G_{QI-QI} = (QI, QI, E_{QI-QI})$;
- [0159] 第十六单元,用于构建匹配图 $G_{BI-BI} = (BI, E_{BI-BI})$;
- [0160] 第十七单元,用于构建内核图 $G_{Core} = (V_{Core}, E_{Core})$ 。

[0161] 所述一种互联网测试床拓扑结构分解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。所述一种互联网测试床拓扑结构分解装置,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互联网测试床拓扑结构分解装置的示例,并不构成对一种互联网测试床拓扑结构分解装置的限定,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,例如所述一种互联网测试床拓扑结构分解装置还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0162] 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互联网测试床拓扑结构分解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互联网测试床拓扑结构分解装置可运行装置的各个部分。

[0163] 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,实现所述一种互联网测试床拓扑结构分解装置的各种功能。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。

[0164] 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。

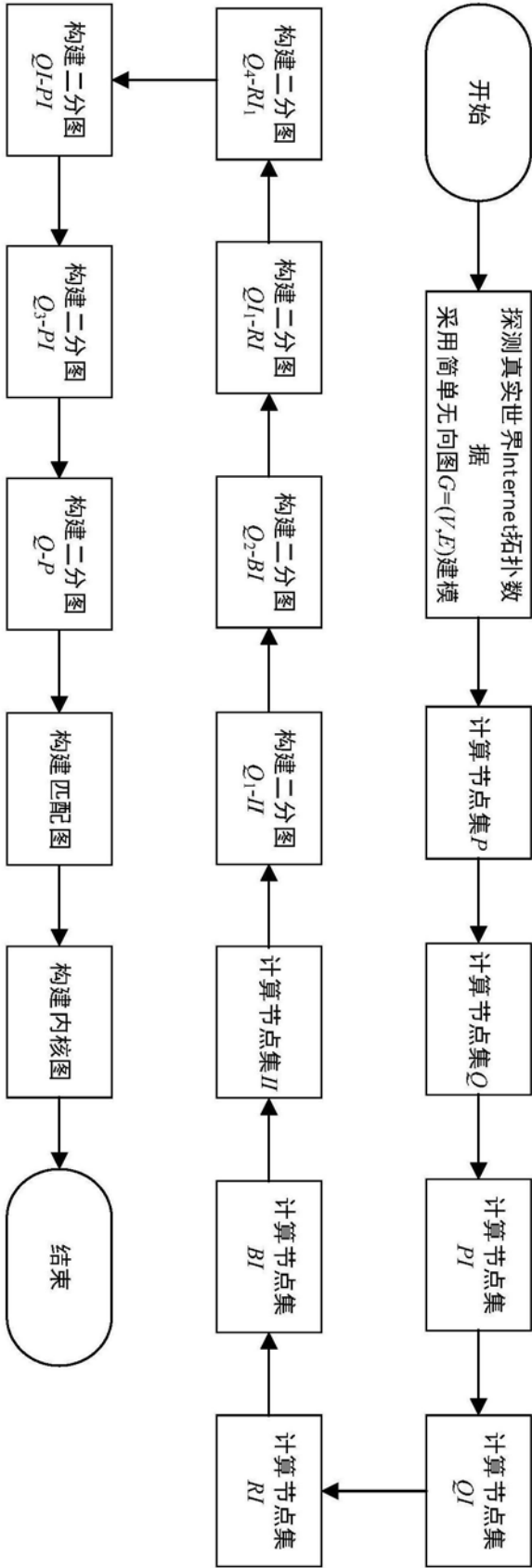


图1

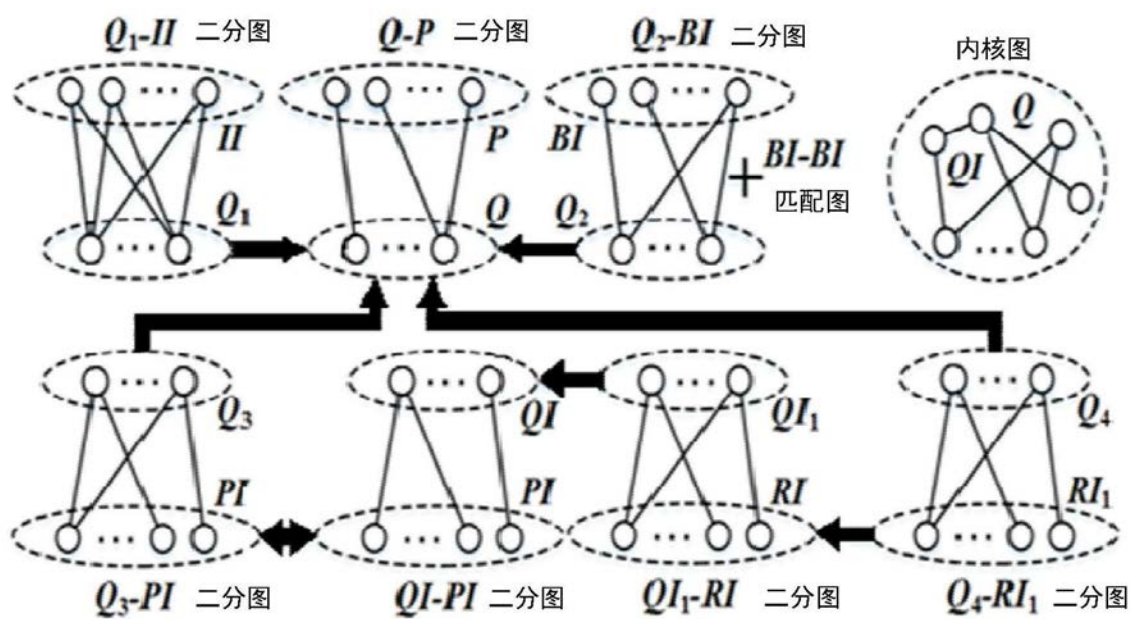


图2