



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117081933 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202311113488.4

(22) 申请日 2023.08.31

(71) 申请人 南京理工大学

地址 210014 江苏省南京市玄武区孝陵卫
街道孝陵卫街200号

(72) 发明人 魏松杰 金睿 巫予哲 刘航天
蒋维仙

(74) 专利代理机构 北京慕达星云知识产权代理
事务所(特殊普通合伙)
11465

专利代理师 刘阳河

(51) Int. Cl.

H04L 41/12 (2022.01)

H04L 43/08 (2022.01)

H04L 101/659 (2022.01)

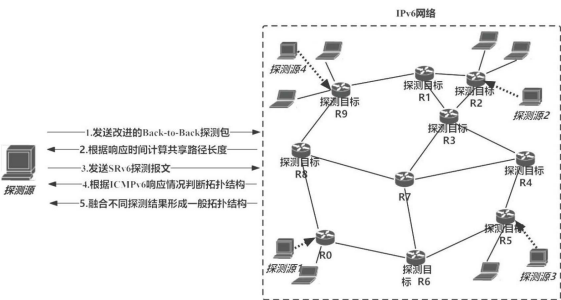
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,属于网络空间安全技术领域,该方法包括:基于改进后Back-to-Back探测包,通过带有罚项的协方差加性特征量获取网络目标节点集中每两个网络目标节点之间的共享路径长度;将共享路径长度的最大值所对应的两个网络目标节点作为基节点对;利用SRv6探测包推断基节点对的基本拓扑结构,获得父节点;利用SRv6探测包在父节点的基础上选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构;通过子树叶节点分布特征将不同探测源获取的整体拓扑结构进行拓扑融合,实现逻辑环路的检测;该方法能够提高拓扑推断的准确率和召回率,能够在大规模IPv6网络中实施。



1. 一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、基于改进后Back-to-Back探测包,通过带有罚项的协方差加性特征量获取网络目标节点集中每两个网络目标节点之间的共享路径长度;并将所述共享路径长度的最大值所对应的两个网络目标节点作为基节点对;

S2、利用SRv6探测包推断所述基节点对的基本拓扑结构,获得父节点;

S3、利用SRv6探测包在所述父节点的基础上选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构;

S4、通过子树叶节点分布特征将不同探测源获取的所述整体拓扑结构进行拓扑融合,实现逻辑环路的检测。

2. 根据权利要求1所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述改进后Back-to-Back探测包包括两组Back-to-Back探测包;其中:

第一组Back-to-Back探测包无负载数据;

第二组Back-to-Back探测包具有负载数据,且整体报文长度小于链路PMTU;

所述第一组Back-to-Back探测包和所述第二组Back-to-Back探测包均由两个ICMPv6 Request数据包组成。

3. 根据权利要求2所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述带有罚项的协方差加性特征量表示为:

$$Metric = M_1 - \left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1 = \frac{M_1^2}{M_2}$$

其中, M_1 和 M_2 分别代表两组负载不同的Back-to-Back探测包探测所得公共路径长度度量值,罚项为 $\left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1$,罚项用于衡量网络状况对探测结果的影响。

4. 根据权利要求1所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述步骤S2具体包括:

S21、通过响应报文,确定所述基节点对所属的SRv6环境类型;所述SRv6环境类型包括严格SRv6环境和松散SRv6环境;

S22、通过响应时间差,判断所述严格SRv6环境或所述松散SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;所述基本拓扑结构包括二叉树结构和线性拓扑结构;

S23、如果所述基节点对是二叉树结构,则创建一个父节点;如果所述基节点对是线性拓扑结构,则将离根节点更近的一个节点作为父节点。

5. 根据权利要求4所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述步骤S21具体包括:

S211、向所述基节点对中的两个网络目标节点分别发送所述Segment List中包含两个节点地址的SRv6报文;

S212、获取所述基节点对的响应报文:如果收到所述基节点对中两个网络目标节点的响应报文,则表示所述基节点对属于所述严格SRv6环境;

如果收到所述基节点对中一个网络目标节点的响应报文,则表示所述基节点对属于松散SRv6环境。

6. 根据权利要求4所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述步骤S22具体包括:

(1) 判断所述严格SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;

构造一个带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包;

配置所述SRv6扩展头的Flags字段和Segment List字段,Segment List[1]设置为响应时间短的地址;

获取所述带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述Segment List字段中最后两个元素的响应时间差,记作第一响应时间差;

获取不带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述Segment List字段中最后两个元素的响应时间差,记作第二响应时间差;

对所述第一响应时间差和所述第二响应时间差进行对比:若所述第一响应时间差和所述第二响应时间差相等,则说明所述基节点对属于所述二叉树结构;若所述第一响应时间差和所述第二响应时间差不相等,则说明所述基节点对属于所述线性拓扑结构;

(2) 判断所述松散SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;

构造一个SRv6报文观察节点,通过判断该SRv6报文观察节点是否执行了End SID功能,来实现判断基节点对是否支持SRv6;

调整Segment List中地址的压栈顺序,设置第一跳为支持所述SRv6探测包的网络目标节点,即将Segment List[0]设为不支持SRv6的节点;Segment List[1]设置为支持SRv6节点的地址;

通过所述SRv6探测包,获取所述基节点对中的两个网络目标节点的响应时间差,记作第三响应时间差;

获取不带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述基节点对中的两个网络目标节点的响应时间差,记作第四响应时间差;

将所述第三响应时间差与第四响应时间差进行对比:若所述第三响应时间差等于所述第四响应时间差,或,所述第三响应时间差等于0,则说明所述基节点对属于所述线性拓扑结构。

7. 根据权利要求1所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述步骤S3具体包括:

将所述父节点加入到网络目标节点集中,将所述基节点对从所述网络目标节点集中去除,计算所述父节点和其他剩余网络目标叶节点的共享路径长度,并选择与所述父节点之间的共享路径长度最长的一个网络目标叶节点作为目标点;

利用所述SRv6探测包从所述目标点处选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构。

8. 根据权利要求7所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述符合预设条件的插入位置,具体包括:在所述网络目标节点集中,如果存在一个网络目标叶节点n满足预设条件,则将该网络目标节点作为插入节点;所述预设条件表示为:

$$|\hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j}) - \hat{\rho}(\hat{i}, n)| \leq \frac{\Delta}{2}$$

其中, \hat{i} 和 \hat{j} 表示所述基节点对中的两个网络目标节点, $\hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j})$ 表示基节点对 $\{\hat{i}, \hat{j}\}$ 的公共

路径长度度量值; n 表示插入节点, $\hat{\rho}(\hat{i},n)$ 表示基节点 \hat{i} 和插入节点 n 的公共路径长度度量值; $\Delta \leq \min_{e \in E} d(e)$, e 表示逻辑链路集合 E 中的任意逻辑链路, $d(e)$ 表示其长度,即小于等于所有逻辑链路长度的最小值。

9. 根据权利要求1所述的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,其特征在于,所述步骤S4具体包括:

根据网络目标节点分布,获取不同探测源探测出的新增节点的特征序列;所述特征序列包括所有网络目标节点的IPv6地址和特征值;

调整所述特征序列,使相同位置上的新增节点的地址相同;

计算不同新增节点之间特征序列的余弦相似度,选择余弦相似度最大的一对新增节点进行拓扑融合。

一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法

技术领域

[0001] 本发明属于网络空间安全技术领域,更具体的说是涉及一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法。

背景技术

[0002] 网络层析技术能够在网络内部节点不提供测量协作的情况下,根据对网络端到端的测量结果间接地估计网络内部链路性能参数,是一种重要的网络测量手段,能直接指导网络管理和网络优化。通过获得的端到端路径级参数数据来反推网络内部链路级参数,例如某段链路的时延与丢包率等。SRv6(Segment Routing IPv6)通过在IPv6报文中插入一个SRH(Segment Routing Header)扩展头,在SRH中压入一个显式的IPv6地址栈,并由中间节点不断地进行更新目的地址和偏移地址栈的操作来完成逐跳转发。其结合了SR的源路由优势和IPv6报文简洁易扩展的特质,具有网络路径、业务、转发行为三层可编程空间,使得其能支撑大量不同业务的不同诉求。

[0003] 目前主要有两种网络拓扑主动测量方法,一种是基于内部节点合作的方法,另一种是基于网络层析的方法,也称为网络断层扫描。随着用户对于隐私安全要求的日益提高以及网络中大量匿名路由器的存在,内部节点往往被配置成不对外界的探测请求做出响应,因此单纯借助Traceroute等基于内部节点协作的拓扑探测方式准确性日益降低。而通过被动监听的方式收集路由信息来构造拓扑结构往往无法获取到完整的拓扑,也无法满足隐私性保护需求。而目前针对IPv4的网络层析拓扑推断方法存在准确率低、无法识别逻辑环路、没有考虑带宽影响等缺点,无法直接迁移至IPv6网络中。而针对IPv6的基于内部节点协作的拓扑探测则无法满足隐私性保护需求,同时面临网络设备的非协作性问题。

[0004] 因此,如何克服现有IPv6网络拓扑探测技术中推断准确率低、不能满足隐私性保护、对IPv6网络的适应性差、无法识别逻辑环路等问题,是本领域技术人员亟需解决的问题。

发明内容

[0005] 鉴于上述问题,本发明提供一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,以至少解决上述背景技术中提到的部分技术问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,包括如下步骤:

[0008] S1、基于改进后Back-to-Back探测包,通过带有罚项的协方差加性特征量获取网络目标节点集中每两个网络目标节点之间的共享路径长度;并将所述共享路径长度的最大值所对应的两个网络目标节点作为基节点对;

[0009] S2、利用SRv6探测包推断所述基节点对的基本拓扑结构,获得父节点;

[0010] S3、利用SRv6探测包在所述父节点的基础上选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构;

[0011] S4、通过子树叶节点分布特征将不同探测源获取的所述整体拓扑结构进行拓扑融合,实现逻辑环路的检测。

[0012] 进一步地,所述改进后Back-to-Back探测包包括两组Back-to-Back探测包;其中:

[0013] 第一组Back-to-Back探测包无负载数据;

[0014] 第二组Back-to-Back探测包具有负载数据,且整体报文长度小于链路PMTU;

[0015] 所述第一组Back-to-Back探测包和所述第二组Back-to-Back探测包均由两个ICMPv6 Request数据包组成。

[0016] 进一步地,所述带有罚项的协方差加性特征量表示为:

$$[0017] \quad Metric = M_1 - \left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1 = \frac{M_1^2}{M_2}$$

[0018] 其中, M_1 和 M_2 分别代表两组负载不同的Back-to-Back探测包探测所得公共路径长度度量值,罚项为 $\left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1$,罚项用于衡量网络状况对探测结果的影响。

[0019] 进一步地,所述步骤S2具体包括:

[0020] S21、通过响应报文,确定所述基节点对所属的SRv6环境类型;所述SRv6环境类型包括严格SRv6环境和松散SRv6环境;

[0021] S22、通过响应时间差,判断所述严格SRv6环境或所述松散SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;所述基本拓扑结构包括二叉树结构和线性拓扑结构;

[0022] S23、如果所述基节点对是二叉树结构,则创建一个父节点;如果所述基节点对是线性拓扑结构,则将离根节点更近的一个节点作为父节点。

[0023] 进一步地,所述步骤S21具体包括:

[0024] S211、向所述基节点对中的两个网络目标节点分别发送所述Segment List中包含两个节点地址的SRv6报文;

[0025] S212、获取所述基节点对的响应报文:如果收到所述基节点对中两个网络目标节点的响应报文,则表示所述基节点对属于所述严格SRv6环境;

[0026] 如果收到所述基节点对中一个网络目标节点的响应报文,则表示所述基节点对属于松散SRv6环境。

[0027] 进一步地,所述步骤S22具体包括:

[0028] (1) 判断所述严格SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;

[0029] 构造一个带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包;

[0030] 配置所述SRv6扩展头的Flags字段和Segment List字段,Segment List[1]设置为响应时间短的地址;

[0031] 获取所述带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述Segment List字段中最后两个元素的响应时间差,记作第一响应时间差;

[0032] 获取不带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述Segment List字段中最后两个元素的响应时间差,记作第二响应时间差;

[0033] 对所述第一响应时间差和所述第二响应时间差进行对比:若所述第一响应时间差和所述第二响应时间差相等,则说明所述基节点对属于所述二叉树结构;若所述第一响应时间差和所述第二响应时间差不相等,则说明所述基节点对属于所述线性拓扑结构;

[0034] (2) 判断所述松散SRv6环境中,所述基节点对所属的基本拓扑结构;

[0035] 构造一个SRv6报文观察节点,通过判断该SRv6报文观察节点是否执行了End SID功能,来实现判断基节点对是否支持SRv6;

[0036] 调整Segment List中地址的压栈顺序,设置第一跳为支持所述SRv6探测包的网络目标节点,即将Segment List[0]设为不支持SRv6的节点;Segment List[1]设置为支持SRv6节点的地址;

[0037] 通过所述SRv6探测包,获取所述基节点对中的两个网络目标节点的响应时间差,记作第三响应时间差;

[0038] 获取不带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包达到所述基节点对中的两个网络目标节点的响应时间差,记作第四响应时间差;

[0039] 将所述第三响应时间差与第四响应时间差进行对比:若所述第三响应时间差等于所述第四响应时间差,或,所述第三响应时间差等于0,则说明所述基节点对属于所述线性拓扑结构。

[0040] 进一步地,所述步骤S3具体包括:

[0041] 将所述父节点加入到网络目标节点集中,将所述基节点对从所述网络目标节点集中去除,计算所述父节点和其他剩余网络目标叶节点的共享路径长度,并选择与所述父节点之间的共享路径长度最长的一个网络目标叶节点作为目标点;

[0042] 利用所述SRv6探测包从所述目标点处选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构。

[0043] 进一步地,所述符合预设条件的插入位置,具体包括:在所述网络目标节点集中,如果存在一个网络目标叶节点n满足预设条件,则将该网络目标节点作为插入节点;所述预设条件表示为:

$$[0044] \quad \left| \hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j}) - \hat{\rho}(\hat{i}, n) \right| \leq \frac{\Delta}{2}$$

[0045] 其中, \hat{i} 和 \hat{j} 表示所述基节点对中的两个网络目标节点, $\hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j})$ 表示基节点对 $\{\hat{i}, \hat{j}\}$ 的公共路径长度度量值; n 表示插入节点, $\hat{\rho}(\hat{i}, n)$ 表示基节点 \hat{i} 和插入节点 n 的公共路径长度度量值; $\Delta \leq \min_{e \in E} d(e)$, e 表示逻辑链路集合 E 中的任意逻辑链路, d(e) 表示其长度,即小于等于所有逻辑链路长度的最小值。

[0046] 进一步地,所述步骤S4具体包括:

[0047] 根据网络目标节点分布,获取不同探测源探测出的新增节点的特征序列;所述特征序列包括所有网络目标节点的IPv6地址和特征值;

[0048] 调整所述特征序列,使相同位置上的新增节点的地址相同;

[0049] 计算不同新增节点之间特征序列的余弦相似度,选择余弦相似度最大的一对新增节点进行拓扑融合。

[0050] 经由上述的技术方案可知,与现有技术相比,本发明公开提供了一种面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,具有如下有益效果:

[0051] 1、基于改进后Back-to-Back探测包,利用共享路径长度罚项算法计算共享路径长度,能够减少不同链路带宽对于探测结果的影响,相较于当前现有方法能极大的提高共享

路径长度计算的精确度。

[0052] 2、利用SRv6协议以及通过OAM的配置对目标节点的基本拓扑进行了更加精准的判断,该方法支持严格SRv6和松散SRv6两种环境,能从根本上改善传统网络层析方式对于边缘节点拓扑判断只能判断出二叉树结构的弊端,能够判断出非叶子节点之间的拓扑关系,从而能够将该方法应用在在真实网络中。

[0053] 3、通过拓扑融合,能够识别出拓扑中的逻辑环路结构,改善了传统网络层析只能获取树状拓扑的弊端,提高拓扑推断的准确率和召回率,能够在大规模IPv6网络中实施,为后续网络空间测绘工作奠定基础。

附图说明

[0054] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,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,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0055] 图1为本发明实施例提供的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法架构示意图。

[0056] 图2为本发明实施例提供的面向IPv6的网络层析拓扑探测方法流程示意图。

[0057] 图3为本发明实施例提供的共享路径探测示例图。

[0058] 图4为本发明实施例提供的拓扑探测时间示例图。

[0059] 图5为本发明实施例提供的SRv6探测报文参数设计示意图。

[0060] 图6为本发明实施例提供的节点插入位置示例图。

[0061] 图7为本发明实施例提供的算法效率对比折线示意图。

具体实施方式

[0062] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0063] 参见图1和图2所示,本发明实施例公开了面向IPv6的网络层析拓扑探测方法,包括如下步骤:

[0064] S1、基于改进后Back-to-Back探测包,通过带有罚项的协方差加性特征量获取网络目标节点集中每两个网络目标节点之间的共享路径长度;并将共享路径长度的最大值所对应的两个网络目标节点作为基节点对;

[0065] S2、利用SRv6探测包推断基节点对的基本拓扑结构,获得父节点;

[0066] S3、利用SRv6探测包在父节点的基础上选择符合预设条件的插入位置,并自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构;

[0067] S4、通过子树叶节点分布特征将不同探测源获取的整体拓扑结构进行拓扑融合,实现逻辑环路的检测。

[0068] 接下来分别对上述步骤进行说明。

[0069] 在上述步骤S1中,主要计算每两个网络目标节点之间的共享路径长度,为此,本发

明实施例提出了基于改进后Back-to-Back探测包的共享路径度量方法;其中,改进后Back-to-Back探测包包括两组负载不同、长度不一的Back-to-Back探测包,如图3所示;其中,第一组Back-to-Back探测包为传统的Back-to-Back探测包,其无负载数据,由两个ICMPv6 Request数据包组成;第二组Back-to-Back探测包具有负载,且整体报文长度小于传输路径中的最大传输单元(例如链路PMTU);该第二组Back-to-Back探测包也由两个ICMPv6 Request数据包组成;在实际操作时,第二组Back-to-Back探测包的负载需尽可能大,可将其负载设为1350字节;

[0070] 上述第一组Back-to-Back探测包和第二组Back-to-Back探测包的测量结果的差异性衡量了本次测量中带宽或阻塞对于探测结果的影响,并在以协方差作为加性度量值的传统共享路径长度度量公式的基础上,将差异性作为罚项;其中,(1)式为传统共享路径度量公式, Y_1 和 Y_2 分别代表两个探测数据包的响应时间;(2)式为重新构造的含有罚项的共享路径度量值计算公式,即带有罚项的协方差加性特征量;

[0071] $Metric = Cov(Y_1, Y_2)$ (1)

[0072] $Metric = M_1 - \left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1 = \frac{M_1^2}{M_2}$ (2)

[0073] 其中,, M_1 和 M_2 分别代表两组负载不同的Back-to-Back探测包探测的公共路径长度度量值,罚项为 $\left(\frac{M_2 - M_1}{M_2} \right) \cdot M_1$,罚项用于衡量网络状况对探测结果的影响;

[0074] 通过共享路径度量公式计算每两个网络目标节点之间的共享路径长度,然后从大到小进行排序,选择共享路径长度的最大值所对应的两个网络目标节点作为基节点对。

[0075] 在上述步骤S2中,对基节点对的基本拓扑结构进行判断,具体包括:

[0076] S21、通过响应报文,确定基节点对所属的SRv6环境类型;SRv6环境类型包括严格SRv6环境和松散SRv6环境;

[0077] 基本拓扑结构可参见图4所示,点R1与R2是基节点对;在图4中,左侧为二叉树结构,记作拓扑一,右侧拓扑中属于父节点和子节点的关系(即线性拓扑),记作拓扑二;首先需要判断R1与R2是否支持SRv6承载协议,具体方法为发送Segment List中包含两个节点地址的SRv6报文,其中参数配置如图5所示;如果能够收到两者的响应报文,则说明R1和R2均支持SRv6,属于严格SRv6环境;如果只能收到其中一个节点的响应报文,则说明是松散SRv6环境;

[0078] S22、通过响应时间差,判断严格SRv6环境或松散SRv6环境中,基节点对所属的基本拓扑结构;基本拓扑结构包括二叉树结构和线性拓扑结构;

[0079] (1) 严格SRv6环境

[0080] 在严格SRv6环境下,所有节点都支持SRv6协议,构造一个带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包,数据包配置如图5所示,分别配置探测报文中SRv6扩展头的Flags字段和Segment List字段,其中Flags字段设置为0x20,即将0-bit位设置为1,通过将0-bit位设置为1,实现逐段检测(Segment-by-Segment),让指定路径中的设备响应ICMPv6 Reply报文;Segment List字段中最后一个元素是Receiver1(接收器1),其次是Receiver2(接收器2),而实际中探测报文会先经过Receiver1,其次是Receiver2,使用 T_1 和 T_2 分别代表带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包到达Receiver1和Receiver2的延迟,令 $\Delta T = |T_2 - T_1|$,

其中 ΔT 表示第一响应时间差；然后再次分别对于Receiver1和Receiver2发送普通的ICMPv6 Request报文(即不带有SRv6扩展头的ICMPv6 Request数据包),使用 T'_1 和 T'_2 分别代表Receiver1以及Receiver2的响应时延,令 $\Delta T' = |T'_2 - T'_1|$,其中, $\Delta T'$ 表示第二响应时间差;比较 ΔT 和 $\Delta T'$,如果二者相等,说明是拓扑二,反之则说明是拓扑一。

[0081] (2) 松散SRv6环境

[0082] 在松散SRv6环境下,只有部分节点支持SRv6,构造一个SRv6报文测试节点,通过观察该节点是否执行了End SID功能,来实现判断基节点对是否支持SRv6;然后调整Segment List中地址的压栈顺序,设置第一跳为支持SRv6的目标节点,让探测报文依次遍历两个节点;将Segment List[0]设为不支持SRv6的节点;Segment List[1]设置为支持SRv6节点的地址;

[0083] 通过严格SRv6中的探测步骤获取到 $\Delta T = |T_4 - T_3|$ 以及 $\Delta T' = |T'_4 - T'_3|$;其中 T_4 、 T_3 和 T'_4 、 T'_3 分别对应R2和R1的ICMPv6探测时延以及SR探测报文时延; T'_4 和 T'_3 的差值可能是 T_4 和 T_3 之间差值的一倍,或者等于0,只要满足式(3)中一个等式即可推断R1和R2的拓扑结构为线性拓扑:

$$\begin{aligned} \Delta T' &= \Delta T \\ \Delta T' &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

[0085] S23、如果基节点对是二叉树结构,则创建一个父节点;如果基节点对是线性拓扑结构,则将离根节点更近的一个节点作为父节点。

[0086] 在上述步骤S3中,具体包括:

[0087] 将父节点加入到网络目标节点集中,将基节点对从网络目标节点集中去除,计算父节点和其他剩余网络目标叶节点的共享路径长度,计算公式如下:

$$[0088] \quad \hat{\rho}(k, f) = \frac{1}{|c(f)|} \sum_{z \in c(f)} \hat{\rho}(k, z) \quad (4)$$

[0089] 其中, k 表示网络目标节点集中除父节点外的其他网络目标节点,即网络目标叶节点; f 表示父节点; $\hat{\rho}(k, f)$ 表示 k 和 f 的公共路径长度; $c(f)$ 表示 f 的所有子节点, z 表示其中的某一个子节点; $\hat{\rho}(k, z)$ 表示 k 和 z 的公共路径长度。

[0090] 选择与父节点之间的共享路径长度最长的一个网络目标叶节点作为目标点;利用SRv6探测包从目标点处选择符合预设条件的插入位置,基于该插入位置,自底向上添加邻居节点来形成整体拓扑结构;

[0091] 根据基本拓扑结构及共享路径长度共有三种插入位置,分别为目标节点的父节点、子节点和兄弟节点;具体参见图6所示,在两种拓扑结构下共有如图6所示的六种可能;对此,本发明实施例提出一种能够适应节点动态变化的基于SRv6的插入位置判断方法,具体包括:

[0092] (1) 首先找到两个共享路径最长的目标节点对 $\{\hat{i}, \hat{j}\}$ 作为基节点,通过步骤2判断两者的拓扑结构,如果是二叉树关系,则为 \hat{i} 和 \hat{j} 创建一个父节点 f ,否则将离源节点更近的一个目标节点设置为父节点 f ,将节点对 \hat{i} 、 \hat{j} 从目标节点集中去除,然后将父节点加入到目标节点集中。

[0093] (2) 在目标节点集中,如果存在一个节点 n ,当 n 满足和 \hat{i} 或 \hat{j} 的共享路径长度的差的绝对值满足:

$$[0094] \quad |\hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j}) - \hat{\rho}(\hat{i}, n)| \leq \frac{\Delta}{2} \quad (5)$$

[0095] 其中, \hat{i} 和 \hat{j} 表示所述基节点对中的两个网络目标节点, $\hat{\rho}(\hat{i}, \hat{j})$ 表示基节点对 $\{\hat{i}, \hat{j}\}$ 的公共路径长度度量值; n 表示插入节点, $\hat{\rho}(\hat{i}, n)$ 表示基节点 \hat{i} 和插入节点 n 的公共路径长度度量值; $\Delta \leq \min_{e \in E} d(e)$, e 表示逻辑链路集合 E 中的任意逻辑链路, $d(e)$ 表示其长度,即小于等于所有逻辑链路长度的最小值。则 n 节点和 \hat{i} 、 \hat{j} 节点共享同一个父节点,符合图6最左侧的插入方式,即 n 节点的父节点为 \hat{i} 、 \hat{j} 节点的最近公共父节点;

[0096] (3) 通过步骤S2判断父节点和要插入节点的拓扑关系,如果符合拓扑一的情况,则插入方式为图6中间的插入方式,即 n 和 \hat{i} 、 \hat{j} 节点的最近公共父节点构成线性拓扑;否则为最右侧的插入方式,即 n 和 \hat{i} 、 \hat{j} 节点的最近公共父节点成为兄弟节点;

[0097] (4) 计算父节点和其他网络目标叶节点的共享路径长度,与某个网络目标叶节点的共享路径计算公式参见上述公式(4);即计算该父节点的所有子节点与该目标节点的共享路径长度的平均值。

[0098] 上述步骤S3从一个包含所有目标节点的子集开始,每一步中它选择一个可能是邻居的节点对(即兄弟节点,在拓扑树中具有相同的父节点),将它们从目标节点集中删除,然后创建一个新节点作为其父节点加入到原来的树中,并添加该父节点到目标节点集中。整个过程不断迭代,直到目标节点集中只剩下一个节点,它将成为根节点(探测源)的子节点。

[0099] 在上述步骤S4中,每一个探测源获取到的网络拓扑中存在一些未知节点,拓扑融合的关键是找到这些未知节点在不同拓扑中的位置,也即在不同的探测结果中找到相同的节点。对每一个探测源来说,网络目标节点集是固定的,因此以每一中间节点为根的子树到其叶节点的拓扑结构较探测源到中间节点的拓扑结构变化往往更小,同时整体拓扑结构都是自底向上进行搭建,所以不同拓扑的同一个节点在底层往往具有更相似的结构。对此,本发明实施例在该步骤中提出了一种基于子树叶节点分布特征的拓扑融合方法,通过表示不同探测结果中新增节点的叶节点特征序列,然后计算特征序列相似度找到不同拓扑中同一个节点,对于匹配成功的节点互相补充边的分布;具体为:

[0100] 首先,在每一个探测源获得的树状拓扑中,以其中的所有中间节点为根并以目标节点集为叶节点构造子树结构,根据该子树中包含的叶节点位置对根节点进行编码,每一个中间节点的特征序列是一个二维数组,包含其中所有叶节点IPv6地址以及其深度,该深度是自底向上进行计算相对距离,而不是从根计算,这是因为不同探测过程中探测源是改变的,而被探测节点保持不变;其次,由于每个探测结果的中间节点特征序列已知,计算不同网络目标节点之间特征序列的余弦相似度,选择相似性最大的作为同一个节点;最后,对于匹配成功的节点,互相补充边的分布。

[0101] 步骤4的详细描述如下:

[0102] 输入 m 个探测源的探测结果集合: $R = \{T_1 = (V_1, E_1), T_2 = (V_2, E_2), \dots, T_m = (V_m, E_m)\}$, 只含有目标节点的拓扑 T_{final} , $V_i (i \in [1, m])$ 表示第 i 个探测结果的节点集合, $E_i (i \in [1, m])$

表示第*i*个探测结果的边的集合。

[0103] 1) 特征值计算。对于每一个探测结果 $\hat{T} \in R$ 的中间节点 $\hat{w} \in \hat{W}$, $T_{sub}(\hat{w}) = (\hat{V}_{sub}, \hat{E}_{sub})$

为以 \hat{w} 为根的子树, 其叶节点为 $\hat{T} \in R$ 的目标节点集 \hat{D} 的子集, 即 $D_{sub} = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 且 $D_{sub} \subset \hat{D}$, 设 D_{sub} 中每一个目标节点 t 的特征值为 $I(t) = \text{dep}_{\max} - \text{dep}(t)$, 其中 dep_{\max} 代表整颗树深度, $\text{dep}(t)$ 代表该目标节点在子树中的深度。

[0104] 2) 特征序列表示。计算 D_{sub} 中的目标节点的特征值, 得到节点 \hat{w} 的特征序列为:

$$[0105] \quad \mathbf{Fp}(\hat{w}) = \begin{bmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_n \\ I(t_1) & I(t_2) & \dots & I(t_n) \end{bmatrix}_{2 \times n};$$

[0106] 3) 相似度计算。对于 R 中任何两个不同的树状拓扑 T' 和 T'' , $\forall p \in W', \forall q \in W'', p \neq q$, 其中 W' 和 W'' 分别是 T' 和 T'' 中间节点的集合, 获得节点 p 和 q 的特征序列, 将两个序列中第一行唯一标识进行处理, 以确保两个矩阵的标识顺序一致, 缺省特征值设为 0, 将两个矩阵的第二行视为两个 n 维的向量, 分别记为 \bar{A} 和 \bar{B} , 然后计算其余弦相似度。

[0107] 4) 选择不同拓扑中相似性最大的一对节点作为同一个节点加入到 T_{final} , 同时补充边的分布, T_{final} 中边的集合为所有探测结果边的并集。

[0108] 输出拓扑融合结果 T_{final} 。

[0109] 综上, 本发明实施例提供了一种面向 IPv6 的网络层析拓扑探测方法, 通过向 IPv6 网络发送改进的 Back-to-Back 探测包, 利用带有罚项的协方差公式计算共享路径长度; 通过 SRv6 协议的路径可编程性以及 OAM 协议的随路测量功能实现目标节点精准的拓扑推断以及插入点位置的判断; 利用子树叶节点分布特征进行拓扑融合, 将不同探测源获取的树状拓扑构造造成一般拓扑, 实现逻辑环路的检测。如图 7 所示, 在相同的发包量下, 本发明实施例具有更高的精度。本发明具有对 IPv6 网络适配性高、高探测效率、高准确率等优点, 在保证隐私性要求的前提下, 可提供更高效、更准确的 IPv6 网络拓扑探测方案。

[0110] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述, 每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处, 各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言, 由于其与实施例公开的方法相对应, 所以描述的比较简单, 相关之处参见方法部分说明即可。

[0111] 对所公开的实施例的上述说明, 使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的, 本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下, 在其它实施例中实现。因此, 本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例, 而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

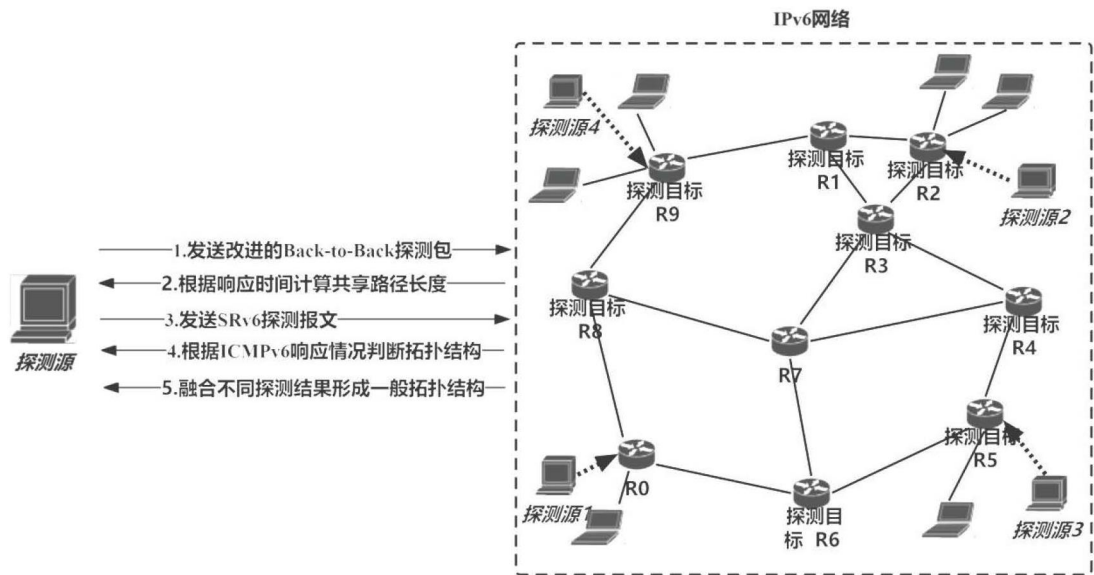


图1

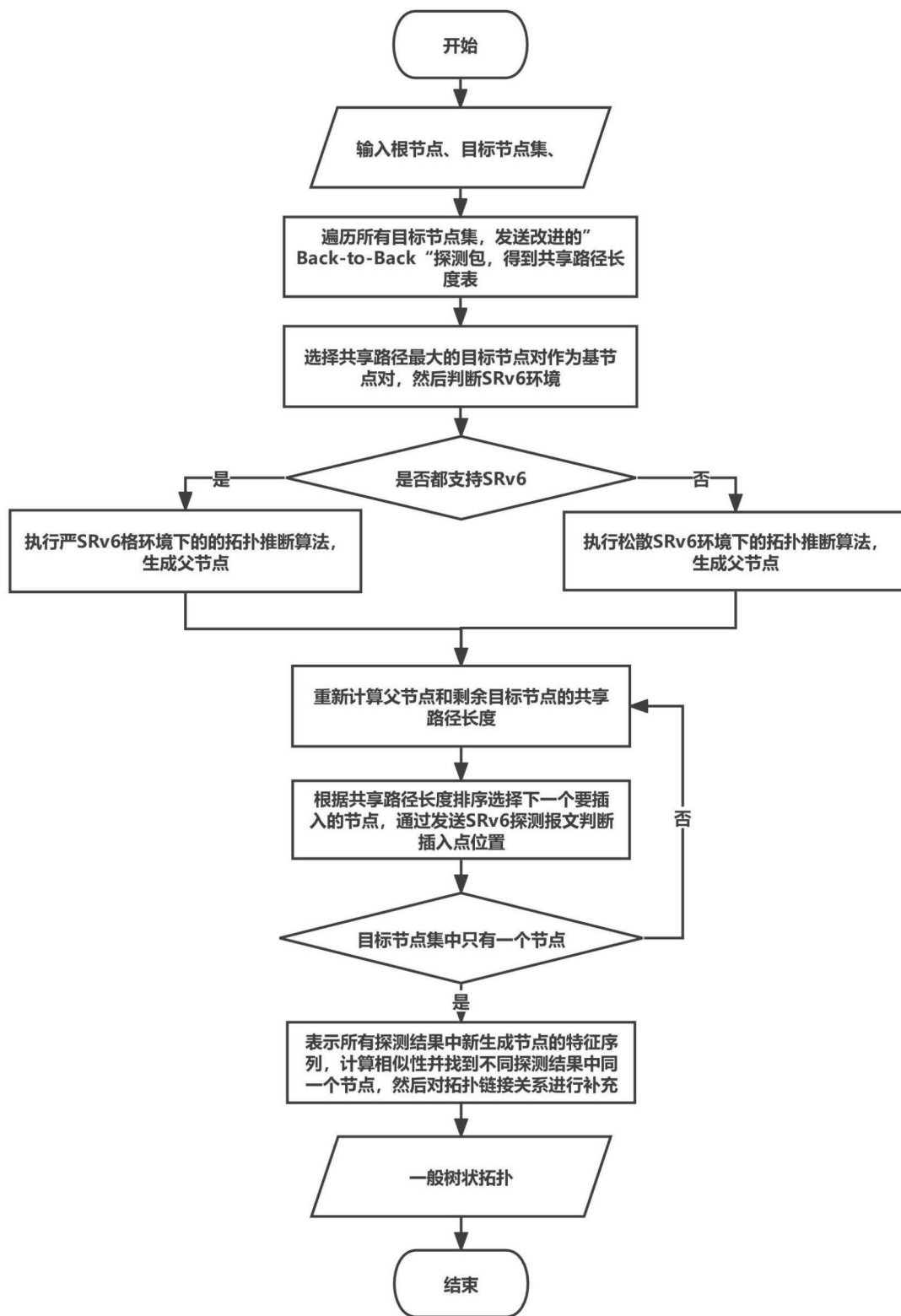


图2

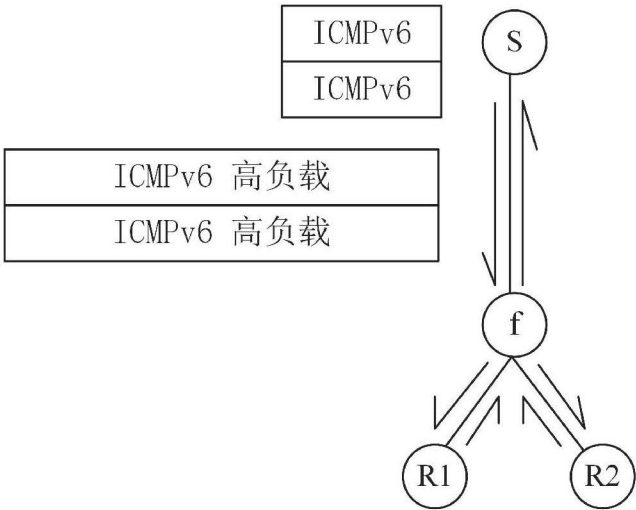


图3

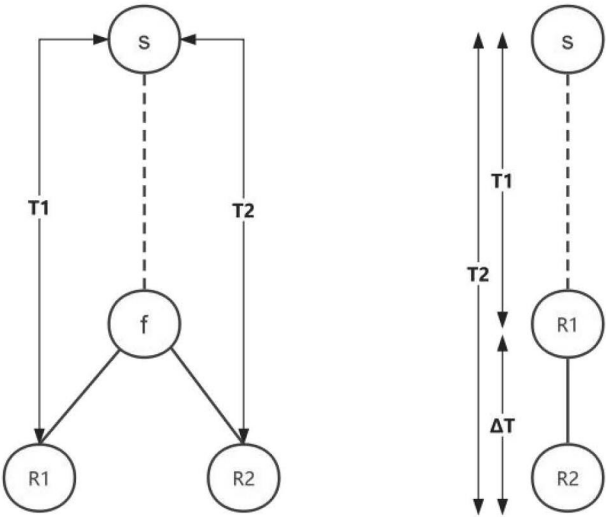


图4

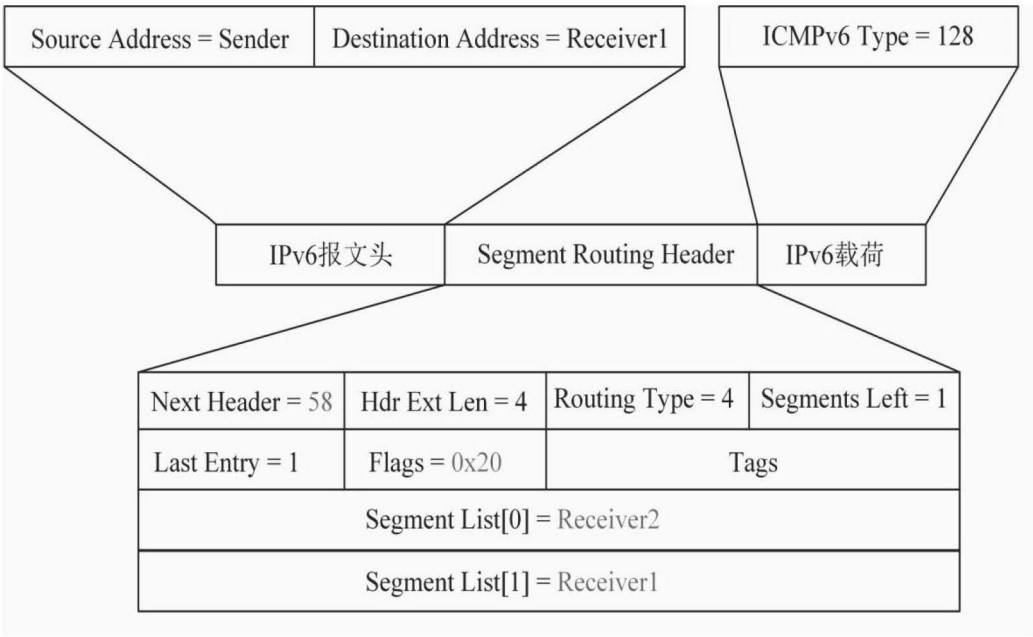


图5

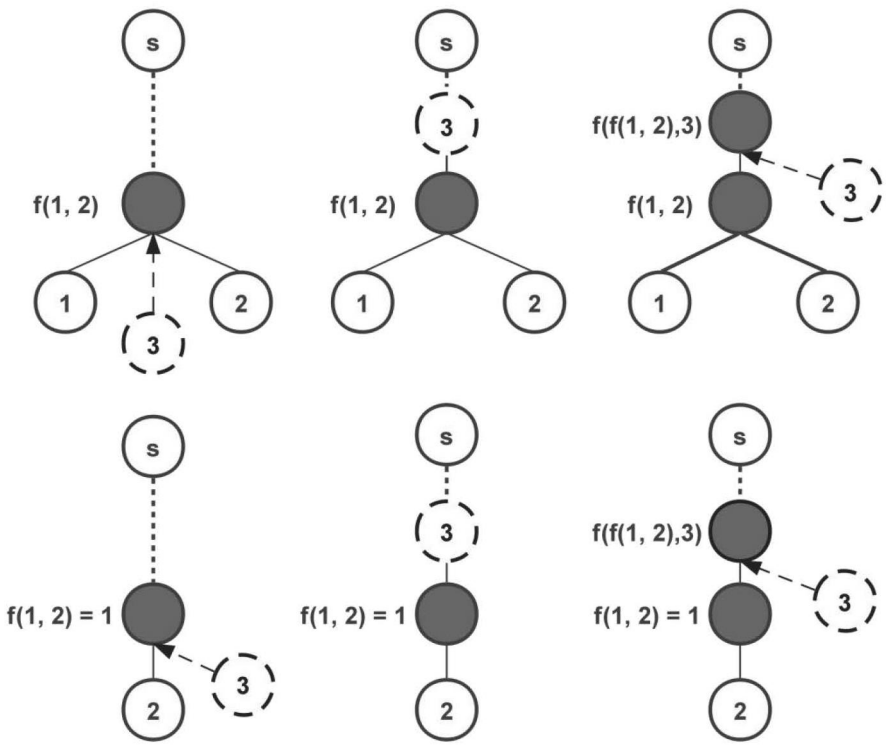


图6

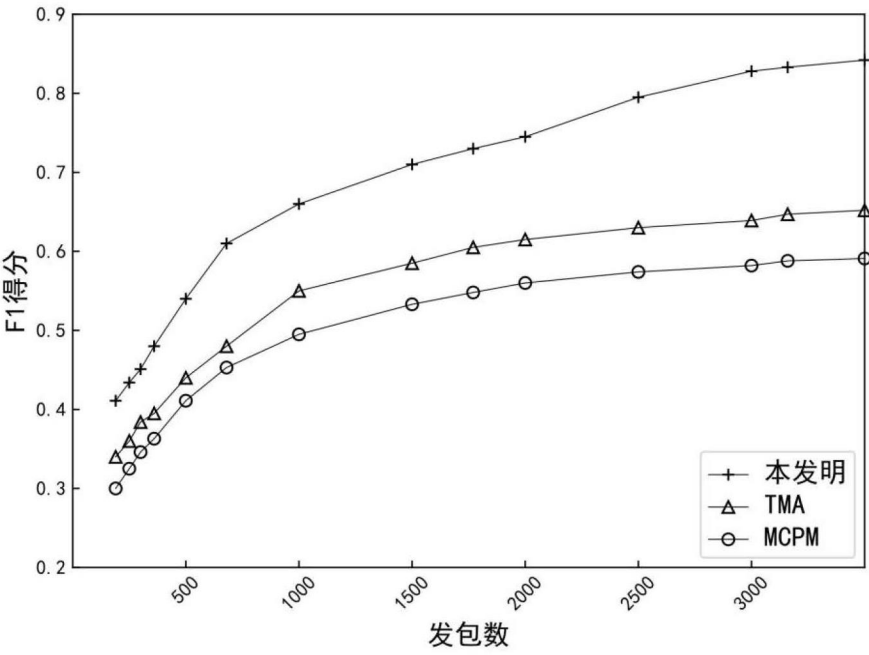


图7