文章编号:1001 - 9081(2011)03 - 0587 - 04
doi:10.3724/SP.J.1087.2011.00587

适应交叉链路的移动 Ad Hoc 网络拓扑分割检测

任　智[1,2],祖　力[1,2],曹建玲[1,2],黄　勇[1,2]
(1. 重庆邮电大学 通信与信息工程学院,重庆 400065; 2. 重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室,重庆 400065)
(renzhi@cqupt.edu.cn; zuli0408500@yahoo.com.cn)

摘　要:为准确探测移动 Ad Hoc 网络(MANET)中导致网络拓扑分割的关键节点,提出一种适应交叉链路的拓扑分割检测算法——CPDA;通过在基本回路探测过程中发布并利用邻节点对信息,CPDA 能够排除交叉链路对基本回路走向的影响,从而解决了现有基于回路探测的分割算法——DPDP 不适用于交叉链路的问题,使关键节点探测的准确度得以提高。性能分析结果表明,CPDA 对网络拓扑没有特殊要求,在准确度和探测开销方面的表现优于 DPDP。

关键词:移动 Ad Hoc 网络;关键节点;交叉链路;邻节点;分割检测
中图分类号: TP393.04　　**文献标志码**:A

Cross-link-tolerant topology partition detection for MANET

REN Zhi[1,2], ZU Li[1,2], CAO Jian-ling[1,2], HUANG Yong[1,2]
(1. *School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing* 400065, *China*;
2. *Key Laboratory of Mobile Communication Technology of Chongqing, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing* 400065, *China*)

Abstract: To detect the critical nodes that can lead to topology partition in a Mobile Ad Hoc Network (MANET), a Cross-link-tolerant Partition Detection Algorithm (CPDA) was proposed. Through utilizing the information of adjacent nodes, CPDA could eliminate the cross-links' impact on the elementary loop. Therefore, it solved the problem that the existing algorithm of Distributed Partition Detection Protocol (DPDP) based on elementary-loop could not address cross links, which improved the accuracy of detection of critical nodes. The performance results show that CPDA has no limitation on network topology and outperforms DPDP in terms of detection accuracy and overhead.

Key words: Mobile Ad Hoc Network (MANET); critical node; cross link; adjacent node; partition detection

0　引言

移动 Ad Hoc 网络[1](Mobile Ad-Hoc Network, MANET)是在没有固定基础设施的情况下,由具有无线传输功能的节点自组织形成的网络。对于移动 Ad Hoc 网络,一系列的应用正在被研究,例如军事上的战场通信、灾难恢复应急通信服务、网络会议等。

由于节点能够移动,所以移动 Ad Hoc 网络有一个非常显著的特征——动态的拓扑,这样就导致网络拓扑经常会出现分割,即一个单一连通的网络,分裂成两个或者更多的子网络。在移动 Ad Hoc 网络中,有些节点的移走(失效)将会把网络分裂成两个或者更多的彼此独立的部分,这些节点被称为关键节点[2]。显然,关键节点在分割检测机制中扮演一个非常重要的角色。对于关键节点,应该付出更多的关注去防止它的失效或者移动。并且,关键节点是网络中负载最重的节点,由于业务量大,导致节点的能量消耗过快,将会使关键节点死去,进而导致网络出现分割。因此,探测网络中的关键节点,将对网络的连通性和服务质量具有重要意义。

本文的主要贡献有:

1)分析网络拓扑中存在交叉链路对分布式拓扑分割探测(Distributed Partition Detection Protocol, DPDP)算法的影响,提出解决方法。

2)在改进 DPDP 算法基础上,提出一种新的分布式拓扑分割检测算法——CPDA(Cross-link-tolerant Partition Detection Algorithm),该算法利用邻节点对信息,能够消除交叉链路对探测结果的影响,适用于任意的移动 Ad Hoc 网络拓扑。

1　相关工作

目前,已有一些文献介绍检测移动 Ad Hoc 网络中关键节点的研究。文献[3]运用深度优先搜索算法(Depth First Search, DFS)来发现导致网络出现分割的关键链路。DFS 是一种集中式的算法,需要节点能够感知全局的拓扑信息,所需的平均开销为 $O(n^2)$(n 为网络节点数目),开销太大。文献[4]是在探测出关键链路的前提下,运用两种方法去延迟或者避免网络出现分割:改变构成关键链路的节点的轨迹和搬移其他节点来加强该链路。在文献[5]中,作者提出一种分布式预测网络拓扑分割算法,该算法基于网络中的每个节点能够感知自己的位置信息和它的一跳邻居节点的运动速度,计算节点与它的邻居节点分割的概率,但该算法要求节点能够感知邻居节点的运动速度,实现比较困难,并且预测准确度不高。而在文献[6]中,采用目前已经存在的组移动模型,利用节点规律运动的特点来预测网络可能出现的分割,但该算法要求节点必须具有组移动的特征,条件比较苛刻。在文献[7]中,采取用 H 跳本地信息来检测关键节点,然后通过对

收稿日期:2010 - 08 - 12。　**基金项目**:国家自然科学基金资助项目(60972068);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2009BB2085);重庆市教委科研项目(KJ090524);重庆邮电大学科研基金资助项目(A2008-13)。

作者简介:任智(1971 -),男,四川内江人,教授,博士,主要研究方向:宽带无线网络、网络仿真; 祖力(1985 -),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向:移动 Ad Hoc 网络拓扑控制; 曹建玲(1974 -),女,河北辛集人,讲师,博士研究生,主要研究方向:无线传感器网络; 黄勇(1985 -),男,安徽黄山人,硕士研究生,主要研究方向:机会网络路由。

关键节点的管理,以保持网络的连通性;检测出关键节点的准确度与 H 有关,H 越大,准确度越高,但是额外的通信开销也会越大。在对关键节点管理的算法中,该文提出三种方案:一是本地全网状(Local Full Mesh, LFM)技术;二是随机选择最少数量链路(Least Number of Links with Random Selection, LNLRS)技术;三是基于最小开销的最少数量链路(Least Number of Links with Least Cost, LNLLC)技术。通过理论分析和实验结果得出第三种方法最优。文献[8]针对网络中极易导致网络分割的关键节点,从本质上揭示了关键节点 i 与两个决定性因素邻居节点度 N_i 以及基本回路度 M_i 的关系,指出 $N_i - M_i \geqslant 2$ 是关键节点 i 存在的充要条件,并在此基础上提出 DPDP 算法,该算法在判断关键节点时具有准确度高、开销小等特点。但是 DPDP 算法只能适应平面化的网络拓扑。

2 网络模型及定义

建立图 $G=(V,E)$ 网络模型,其中:V 代表网络中的节点集,E 表示链路集[9]。边 $e=(u,v)\in E$,$(u,v)\in E$ 存在当且仅当 u 在 v 的通信范围内。图 G 中所有链路都是双向的,例如,如果 u 在 v 的通信范围内,那么 v 也一定在 u 的通信范围内。因此,如果 $(u,v)\in E$,就说节点 u 和节点 v 相互之间是邻居节点。本文假设每个节点的通信半径是 r。定义 $d(i,j)$ 为节点 i 和节点 j 之间的距离。如果 $(i,j)\notin E$,则 $d(i,j)=\infty$。假设网络中的每个节点装备有全球定位系统(Global Position System, GPS)接收机,这样该节点就能够获得自己的坐标位置信息和一跳邻居节点的坐标信息。

为了便于论述,首先定义一些本文使用的概念。

定义 1 关键节点。是指如果一个节点的离去或者该节点失效,会使网络分裂成两个或者更多独立的部分,那么,就称该节点为关键节点。

定义 2 邻节点度。节点 i 的邻节点数目,即:$N_i=|S_i|=|\{j\in V|(i,j)\in E\}|$。

定义 3 邻节点对。如果节点 i 的 2 个邻节点 j、k 满足:节点 k 是以 i 为顶点沿 $e(i,j)$ 顺时针方向上的第一条边所关联的节点,那么则称 j、k 为节点 i 的一个邻节点对(如图 1 所示),记为 $(j,k)_i$。若 $e(i,k)$ 和 $e(i,s)$ 在同一条直线上(节点 k,i,s 共线),且 $|e(i,k)|>|e(i,s)|$,则称 k、s 为节点 i 的一个邻节点对(如图 1 所示),记为 $(k,s)_i$。

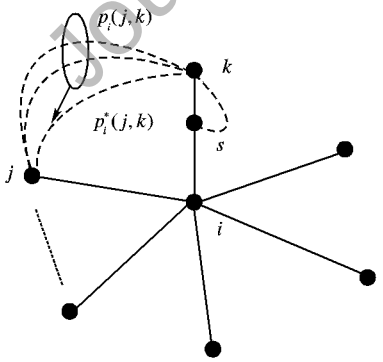

图 1 邻节点对和基本回路

定义 4 基本回路。设节点 $(j,k)_i$ 是节点 i 的一个邻节点对,并构成经过节点 i 的路 $p_i'(j,k)=jik$,$P_i(j,k)=\{p_i^1(j,k),p_i^2(j,k),\cdots,p_i^l(j,k)\}$ 是不经过节点 i 连通 j、k 路的集合。如果 $P_i(j,k)\neq\varnothing$,可将所有路 p,$p\in P_i(j,k)$ 在逻辑上等效为一条路 $p_i^*(j,k)$,如图 1 所示。称 $p_i^*(j,k)$ 与 $p'_i(j,k)$ 构成的闭合回路为节点 i 经过 $(j,k)_i$ 的一个基本回路,记为 $L_i(j,k)$。

定义 5 基本回路度。节点 i 经过不同邻节点对的基本回路总数,即 $M_i=|\{L_i(j,k)|j,k$ 是节点 i 的邻节点对$\}|$。

3 CPDA

CPDA 是通过改进 DPDP 算法的原理而提出的,改进的主要内容是基本回路走向的校正。

3.1 DPDP 算法简介

定理 1[8] 给定图 $G(V,E)$,节点 i 是图 G 中的割点,当且仅当该节点的邻节点度 N_i 和基本回路度 M_i 满足 $N_i-M_i\geqslant 2$。

DPDP 算法就是利用定理中邻节点度 N_i 和基本回路度 M_i 的代数关系,判断节点是否是关键节点。所以,能够准确地判断发起节点的邻节点度和基本回路度,对于判断该节点是否是关键节点非常重要。

3.2 DPDP 算法中存在的问题

在 DPDP 算法中,基本回路的探测是通过右手法则遍历面的实现。在算法中要求网络拓扑必须是平面拓扑,即网络中不存在交叉链路。

定义 6 交叉链路。在 $G=(V,E)$ 网络中,任意两条边相交,称为交叉链路。如图 2 所示,$e(Q,R)$ 和 $e(F,W)$ 相交,所以称 $e(Q,R)$ 和 $e(F,W)$ 为交叉链路。

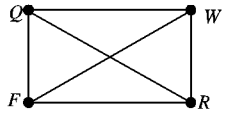

图 2 一个简单的交叉链路示例

基本回路探测时,由于交叉链路的存在,使得探测分组不能沿着邻居节点对回到发起节点,最终导致探测发生错误。

3.3 分析及解决方案

DPDP 算法在探测基本回路时,使用右手法则遍历面的方法。而在由单位圆图(Unit Disk Graph, UDG)[10]构造的一般拓扑中,由于交叉链路的存在,影响了右手法则的正确选路,使得能构成基本回路的邻节点对无法构成回路。假设节点 I 的邻节点对能构成基本回路,以下从两种情况分析交叉链路对基本回路探测的影响,并提出解决方案。

情况 1 如图 3 所示,节点 K、J、L 都是节点 I 的邻节点,并且 J、K、L 彼此也是邻节点。节点 I 可知:$(J,K)_I$、$(K,L)_I$、$(L,J)_I$ 是 I 的三个邻节点对,并且 $e(J,L)$ 和 $e(I,K)$ 构成交叉链路。节点 I 发起基本回路探测,节点 J 接收到探测包时,根据右手法则遍历面的方法,选择下一跳节点 L,然后节点 L 根据右手法则遍历面的方法,将探测包转发回发起节点 I。但是,节点 I 并不将这次探测判断为基本回路,因为这次探测没有经过节点 J 的邻节点对 K 回到发起节点 I。由此可见这种情况下,交叉链路会影响探测的结果。

情况 2 如图 4 所示,节点 J、K、L 都是节点 I 的邻节点,并且节点 K、L 一点可达,但是节点 J 与节点 K、L 一跳不可达。节点 I 可知:$(J,K)_I$、$(K,L)_I$、$(L,J)_I$ 是 I 的三个邻节点对。节点 M、Q、P 是节点 J 和 K 的中间节点。节点 I 发起基本回路探测,节点 J 接收到探测包时,根据右手法则遍历面的方法,沿着节点 M 和 Q,转发到 P。节点 P 根据法则,将探测包转发给节点

L,节点 L 转发给发起节点 I。然而,节点 I 也不将这次探测判断为基本回路,因为这次探测没有经过节点 J 的邻节点对 K 回到发起节点 I。但是,从拓扑图中可以明显看出从节点 K 是构成回路的。根据右手法则遍历面的性质[11],节点 J 在选择下一跳是以 $e(J,I)$ 逆时针旋转相交的第一个节点,即节点 M。其他节点依此类推。因此,交叉链路并不影响探测中间节点的选路,即节点 M、Q 到 P。而是在发起节点 I 构成交叉链路时,才会使基本回路探测产生错误。

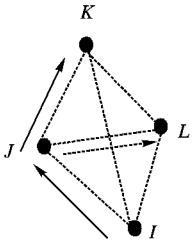

图 3　探测开始阶段出现交叉链路

解决方案　节点 I 发起基本回路探测,节点 J 在收到节点 I 发送的探测包时,根据节点的位置信息,将其邻节点对 K 置入探测包中,节点在选择下一跳时,首先判断其邻节点集中是否有节点 K。若有,则直接发给节点 K,节点 K 在转发给发起节点 I;否则,按照右手法则选择下一跳。通过这种方法能有效地避免交叉链路对回路探测的影响。

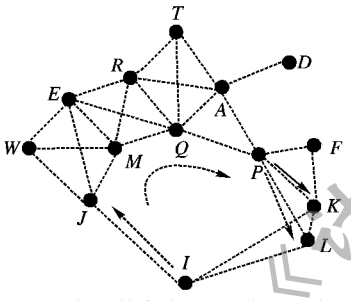

图 4　探测结束阶段出现交叉链路

3.4　CPDA

根据关键节点定理和分析网络中的交叉链路,在 DPDP 算法的基础上,提出一种适用于静态或者低速运动的 Ad Hoc 网络拓扑分割探测算法——CPDA,该算法能满足任意拓扑的探测。为获得定理中的 N_i 和 M_i,CPDA 包括邻节点探测和基本回路探测 2 个部分。

1)邻节点探测。

在 CPDA 中,节点通过与周围节点交互 Hello 消息来获取邻节点度数信息。网络中的节点 i 周期性地广播发送 Hello 消息告知周围节点自己的存在。Hello 消息中主要包括节点 ID 号和位置坐标信息。通过统计接收到 Hello 消息的数目,节点可以确定其邻节点度数 N_i,并根据邻节点相对位置关系和长度大小可以确定它的邻节点对。

2)基本回路探测。

在一般的网络拓扑中,由于存在交叉链路,拓扑图中节点 i 与其邻节点对所构成的面可能与其他平面相重叠,而节点 i 的基本回路构成的平面实际上对应于其中的一个平面。因此,CPDA 在采用右手法则遍历面的方法来探测邻节点对间可能存在的基本回路时,通过节点 i 的邻节点对的信息,选择基本回路对应的平面。探测过程是通过发送基本回路探测包(Elementary Loop Detection Packet, ELDP)来实现的,其格式如图 5 所示。其中 TYPE 是包类型;PRB_ID 记录探测发起节点的 ID 号;FRST_ID 用于记录分组所经过的第一个中继节点的 ID 号;END_ID 记录第一个中继节点对应的邻节点对的 ID 号;SND_ID 和 RCV_ID 分别是每次中继时发送节点和接收节点的 ID 号;NEIBINFOR 用于记录探测发起节点的所有邻节点的 ID 号和位置信息;TTL(Time to Live)记录分组的生存期。

TYPE	PRB_ID	FRST_ID	END_ID
SND_ID	RCV_ID	NEIBINFOR	TTL

图 5　ELDP 结构

下面以网络中的某节点 i 为例,详细介绍基本回路探测的算法流程。

步骤 1　节点 i 将 M_i 清零,向其邻节点广播发送 ELDP,启动基本回路探测。ELDP 的 PRB_ID 域置为节点 i 的 ID 号;NEIBINFOR 域置为节点 i 的所有邻节点的 ID 号和位置信息;TTL 置为 0。

步骤 2　节点 i 的某个邻节点,在收到 ELDP 后,首先将自己的 ID 号 j 置入该分组的 FRST_ID 域。更新 TTL。获取 NEIBINFOR 的信息,根据节点 j 的位置信息和 NEIBINFOR 中所存储的节点 i 的所有邻节点的 ID 号和位置信息,可以确定节点 j 的邻节点对 k 的 ID 号,置入 END_ID 中,并将 NEIBINFOR 清空。

步骤 3　遍历本节点的邻节点中是否有 END_ID 中的 ID 号;若有,转到步骤 6;否则,转到步骤 4。

步骤 4　按照右手法则确定下一跳并向该节点单播发送 ELDP 包。

步骤 5　节点收到 ELDP 后。首先判断 TTL 是否过期。若是,则丢弃该探测包;否则,更新 TTL,转到步骤 3。

步骤 6　将 END_ID 域中的 ID 号的节点 k 作为下一跳,单播发送 ELDP。

步骤 7　节点 k 收到 ELDP 后,更新 TTL。将发起节点 i 作为下一跳,单播转发 ELDP。

步骤 8　节点 i 收到 ELDP 后,更新 TTL,并将探测包销毁,M_i 加 1。

4　仿真及性能分析

本文采用 OPNET 14.5 作为网络仿真工具,比较了 DPDP 算法和 CPDA 在探测准确度和探测开销的性能。两个性能统计量的定义如下。

探测准确度　通过算法探测出正确结果的节点数目与网络中节点数目之比。

探测开销　执行一次关键节点探测算法,网络中所有节点发送包的总和。

4.1　仿真场景

仿真时,将 50、100、150、200、250 个节点均匀随机部署在 $k \times k$ 的正方形平坦区域中。选择 Random Waypoint 为节点的运动模型。其工作原理是在运动空间内随机取起始点 S 和目的点 D,随机取速度 $E(v_{\min},v_{\max})$,使用该速度从点 S 沿直线移动到点 D(其中 $v_{\min}$ 和 $v_{\max}$ 分别代表节点的最小速度和最大速度)。节点运动到 D 处时,随机选取一个时间 t_{pause},在这段时间内 $E(v_{\min},v_{\max})$ 保持静止,这样就完成一个 step 过程。将节点到达的目的点 D 作为下次运动的起始点 S,在运动空间内随机取一点作为目的点 D,重复 step 过程,直至仿真结束。在仿真过程中,本文取 $t_{\text{pause}}=0$。

数据链路层选择 802.11 标准的 MAC 协议,节点的通信

半径设置为 250 m。定义节点通信范围内节点数目的平均值为节点密度,用 ρ 表示。仿真时间设置为 1 000 s,每 5 s 进行一次拓扑分割检测,每个仿真结果取 200 次探测值的代数平均值。

4.2 仿真结果及分析

4.2.1 节点数不同时探测性能的比较

固定节点密度 ρ 为 9(节点密度适中),本文比较了节点数不同时两种算法的探测性能。

1)探测准确度。

由图 6 可以看出,在不同节点规模的网络中(节点密度 ρ =9),DPDP 算法和 CPDA 的探测关键节点的准确度差距很大。DPDP 算法的准确度随着节点数的增大一直处在 10% 以下,可见该算法不适合在一般拓扑(没有优化的非平面拓扑结构)中探测关键节点。对于 CPDA,在静止状态和低速运动时,探测关键节点的准确度一直保持在 85% 以上。而且随着网络规模的增大,准确度变化很小,说明 CPDA 能够满足规模比较大的 Ad Hoc 网络拓扑分割探测。

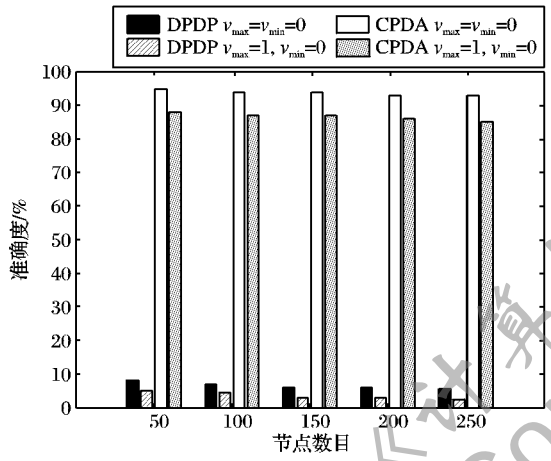

图 6 算法准确度比较(ρ = 9)

2)探测开销。

图 7 给出两种算法的开销比较,从图中可以看出 CPDA 的开销优于 DPDP 算法。随着节点数的增大,两者的探测开销都有增大的趋势。但在相同的节点数目的情况下,CPDA 的探测开销小于 DPDP 算法。

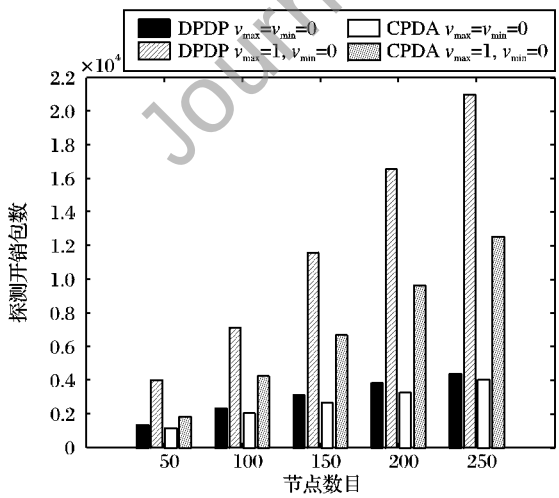

图 7 算法探测开销比较(ρ = 9)

4.2.2 不同节点密度时探测性能比较

固定节点数为 100,本文比较了节点密度不同时两种算法的探测性能。

1)探测准确度。

图 8 比较了相同节点数量不同节点密度的网络中算法探测的准确度。从图 8 中可以明显看出,节点密度 ρ 对 DPDP 的探测准确度影响比较大。因为在低密度时,网络中存在交叉链路的概率比较小,进而对基本回来探测的影响比较小,所以探测关键节点的准确度较高;随着节点密度的增高,网络中的交叉链路数量增多,所以探测关键节点的准确度随之下降。而对于 CPDA 来说,由于该算法能克服交叉链路对基本回路探测的影响。所以,无论节点是在静态还是低速运动状态,探测关键节点的准确度保持在 80% 以上。可以看出,CPDA 对节点密度 ρ 的变化不是很敏感。

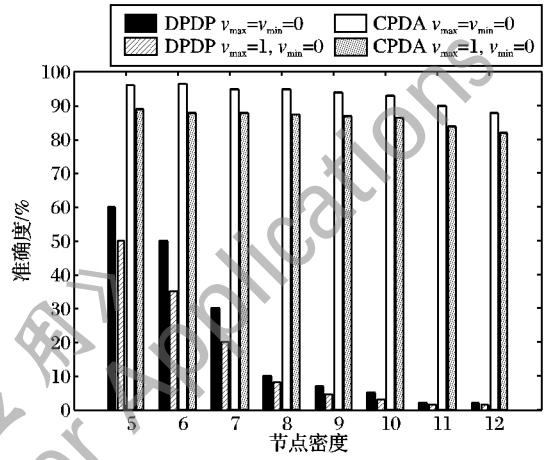

图 8 算法准确度比较(100 个节点)

2)探测开销。

图 9 比较了相同网络规模不同节点密度情况下两种算法的开销。从图 9 中可以看出,DPDP 和 CPDA 的开销曲线都随着节点密度 ρ 的增加变化平坦。探测开销主要是由每个节点的邻节点对的数目和每个基本回路中包含节点的数目决定。理论分析可知,随着网络中节点密度 ρ 的增加,节点的平均邻节点对数目就越多,而基本回路中包含的平均节点数目则越少,这样就构成一个动态平衡。所以,两种算法的开销随着节点密度 ρ 的增大变化不大。

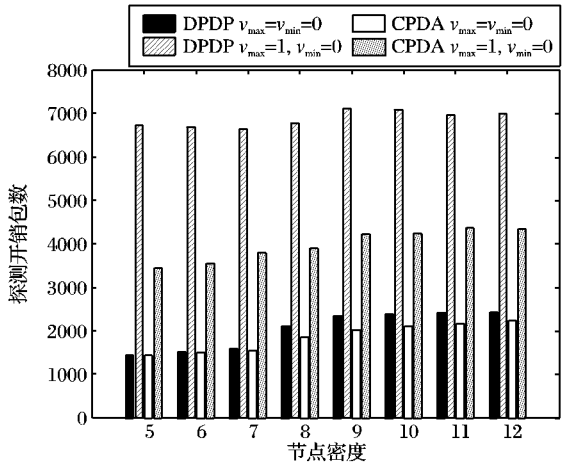

图 9 算法探测开销比较(100 个节点)

5 结语

通过分析 DPDP 算法不能适应交叉链路的缺点并给出解决办法,从而提出一种适用于交叉链路的网络拓扑分割检测算法——CPDA。从仿真结果可以看出,该算法可用于任意网

(下转第 612 页)

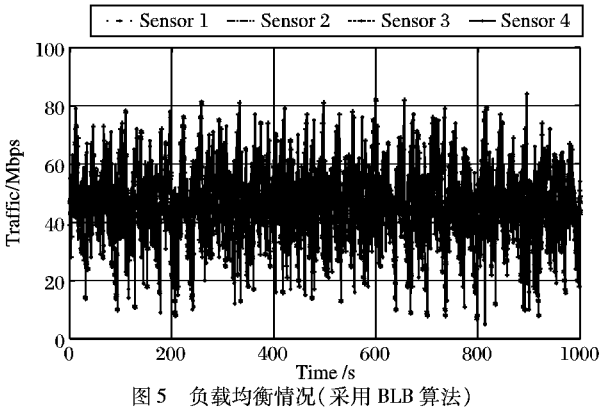

图5 负载均衡情况(采用BLB算法)

表1 负载评估对比

负载均衡方案	探测器数目 n	*PLBM*	*PLR*/%	*FID*
无负载均衡	4	0.83	33	0.68
	8	0.67	19	0.56
有负载均衡	4	0.43	12	0.45
	8	0.31	5	0.33

表2展示了IBM算法[9]、SHI算法[10]和本文的BLB算法的负载均衡情况。实验使用了4个探测器。实验结果显示BLB算法和SHI算法的报文负载均衡度较好,而BLB算法及IBM算法的流完整性破坏度较低。

表2 负载评估对比(n=4,有负载均衡)

算法	*PLBM*	*PLR*/%	*FID*
IBM	0.71	15	0.58
SHI	0.68	24	0.65
BLB	0.67	19	0.56

从实验数据看,使用本文提出的负载均衡方案后,探测器的流量负载情况达到了较好的均衡状态,数据包较为均衡地分发到各个探测器,能充分发挥探测器的处理能力,降低系统的漏报率和流重映射度。采用基于B+树的反馈式负载均衡算法可以较有效地调节探测器间的负载均衡问题,提高并行NIDS的检测率。

4 结语

本文以高速网络环境下并行入侵检测的负载均衡为研究对象,利用B+树平衡,搜索稳定快速的特点,提出了基于B+树快速调优的反馈式负载均衡算法(BLB)。该算法周期性地取得各处理节点当前的负载状态反馈信息,动态对B+树结构进行调优,达到网络流量的负载均衡,同时保持连接。实验证明了该方案能有效地均衡负载,降低系统的漏报率。

参考文献:

[1] 王明定,赵国鸿,陆华彪. 面向并行入侵检测的主动式负载均衡算法[J]. 网络安全技术与应用,2010(2):47-51.

[2] LIU TINGWEN, SUN YONG, ZHANG ZHIBIN, *et al*. Load balancing for flow-based parallel processing systems in CMP architecture [C]// IEEE Conference on Global Telecommunications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 4694-4700.

[3] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构[M]. 北京:清华大学出版社,1997: 238-246.

[4] BAYER R. Binary B- trees for virtual memory [C]// International Conference on Management of Data. New York, USA: Association for Computing Machinery, 1971:219-235.

[5] BAYER R, MCCREIGHT E M. Organization and maintenance of large ordered indices [J]. Acta Informatica, 1972, 1(3): 173-189.

[6] COMER D. The ubiquitous B-tree [J]. ACM Computing Surveys, 1979, 11(2): 121-137.

[7] 崔轩辉,左毅,郭长金. 基于事务处理的B+树存取路径的实现[J]. 微型计算机信息,2007,23(12):270-272.

[8] NLANR. NLANR network traffic packet header traces [EB/OL]. [2010-06-20]. http://pma.nlanr.net.Traces/.

[9] DITTMANN G, HERKERSDORF A. Network processor load balancing for high-speed links [C]// SPECTS 2002: Proceedings of the 2002 International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems. Sand Die, CA: CA Simulation Councils, 2002: 727-735.

[10] SHI W, MacGREGOR M H, GBURIYNSKI P. An adaptive load balancer for multiprocessor routers [EB/OL]. [2010-06-10]. http://www.cs.ualberta.ca/~pawel/PAPERS/.

(上接第590页)

络拓扑中的关键节点检测。未来的主要工作是对CPDA的功能进行深化扩展,在检测关键节点的基础上进一步检测出关键链路和拓扑分割状况,增强MANET的拓扑感知功能。

参考文献:

[1] RAM R, JASON R. A brief overview of Ad Hoc network: Challenges and directions [J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(5): 20-22.

[2] SHENG M, LI J D, SHI Y. Critical nodes detection in mobile Ad Hoc network [C]// Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington, DC: IEEE Press, 2006: 1-5.

[3] GOYAL D, CAFFERY J. Partitioning avoidance in mobile Ad Hoc network using network survivability concepts [C]// ISCC'02: Proceedings of the Seventh IEEE Symposium on Computers and Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2002: 553-558.

[4] BASU P, REDI J. Movement control algorithms for realization of fault-tolerant Ad Hoc robot networks [J]. IEEE Network, 2004, 18(4): 36-44.

[5] BRATISLAV M, NIKOLA M, MIROSLAW M. Prediction of partitioning in location-aware mobile Ad Hoc networks [C]// Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC: IEEE Press, 2005: 306-312.

[6] WANG K H, LI B C. Group mobility and partition prediction in wireless Ad Hoc networks [C]// Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2002: 1017-1021.

[7] KIM T-H, TIPPER D, KRISHNAMURTHY P, *et al*. Improving the topological resilience of mobile Ad Hoc networks [C]// Proceedings of the 7th International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks. Washington, DC: IEEE Press, 2009: 191-198.

[8] 李建东,田野,盛敏,等. 大规模Ad Hoc网络拓扑分割探测研究[J]. 通信学报,2008,29(9):54-61.

[9] 殷剑宏,吴开亚. 图论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2005.

[10] SANTI P. Topology control in wireless Ad Hoc and sensor networks [M]. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2005.

[11] BRAD K, KUNG H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]// Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2004: 243-254.