

移动 IPv6 网络家乡代理容错方法研究*

张玉军⁺, 张瀚文, 肖文曙, 李忠诚

(中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190)

Research on Home Agent Fault-Tolerant Approach for Mobile IPv6 Networks

ZHANG Yu-Jun⁺, ZHANG Han-Wen, XIAO Wen-Shu, LI Zhong-Cheng

(Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

+ Corresponding author: E-mail: zhmj@ict.ac.cn

Zhang YJ, Zhang HW, Xiao WS, Li ZC. Research on home agent fault-tolerant approach for mobile IPv6 networks. Journal of Software, 2008,19(6):1491-1498. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/1491.htm>

Abstract: Mobile node (MN) is reachable based on home agent (HA) in mobile IPv6 (MIPv6). This paper proposes the active detection and transfer HA fault-tolerant method (ADTM) for MIPv6 networks. It defines the conception of ring detection & backup chain (D&B chain) among HAs in the same link. An MN only backups its registration information on the next HA in the D&B chain. For any HA, its previous HA and its next HA in the D&B chain detect the HA's validation based on neighbor discovery mechanism. If an HA is detected failure, its next HA will take over the failed HA temporarily, then inform the failure information to MNs served by the failed HA. An MN received the failure information will select a new valid and perform home registration again. For implementing ADTM, this paper defines the data structures, designs the fault-tolerant algorithm and describes the procedure in detail. It is proved that this method has less fault-tolerant time and less signal cost than the method in RFC 3775, especially in the scenario of MN moving more frequently.

Key words: mobile IPv6; home agent; fault-tolerant method; failure detection; information transfer

摘要: 移动 IPv6 基于家乡代理的转发,实现节点移动过程中的可寻址性.提出主动检测和迁移的家乡代理容错方法,通过在家乡代理之间设计环状检测和备份链,使家乡代理之间相互检测失效情况的发生;所有注册信息在家乡链路上仅备份一次;检测到失效后,有效家乡代理自动地暂时接管失效家乡代理的工作,并主动通告给相关移动节点;移动节点收到家乡代理失效信息后,主动启动恢复过程.给出了实现该方法的数据结构和容错算法,描述了具体的容错处理过程.通过理论分析证明了该方法比协议标准中的方法具有更小的容错时间和信令开销,特别是在移动节点的移动频率较慢的情况下更是如此.

关键词: 移动 IPv6;家乡代理;容错方法;失效检测;信息迁移

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

移动 IP 技术使得主机在不中断当前连接的情况下,任意改变接入位置都能被寻址到.IETF 已经发布了移动 IPv4(MIPv4)标准^[1]和移动 IPv6(MIPv6)标准^[2].在 MIPv6 中,无论 MN 连接在什么位置,发往其家乡地址的数据

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90604014 (国家自然科学基金)

Received 2006-10-23; Accepted 2007-01-24

包总会被 MN 接收到,这个功能主要依赖于其家乡代理的有效性^[3].家乡代理是 MIPv6 中 MN 能够被寻址的关键因素,如果 MN 的家乡代理失效,发往 MN 家乡地址的数据包将不能被 MN 接收到,MN 将丧失可寻址性.从保障 MN 可寻址性的角度考虑,必须研究 MIPv6 中家乡代理的容错方法.本文研究 MIPv6 中家乡代理的容错方法(包括失效检测和失效恢复两个阶段),目的是当 HA 失效后尽快恢复 MN 的可寻址性.图 1 表示了家乡代理失效后的容错处理过程,共分为 4 个步骤:(1) HA 失效;(2) CN(correspondent node)发送的数据将不能到达 MN,MN 与 CN 之间通信中断;(3) 新的 HA 重新为 MN 服务;(4) CN 发送的数据能够到达 MN,MN 与 CN 之间通信恢复.

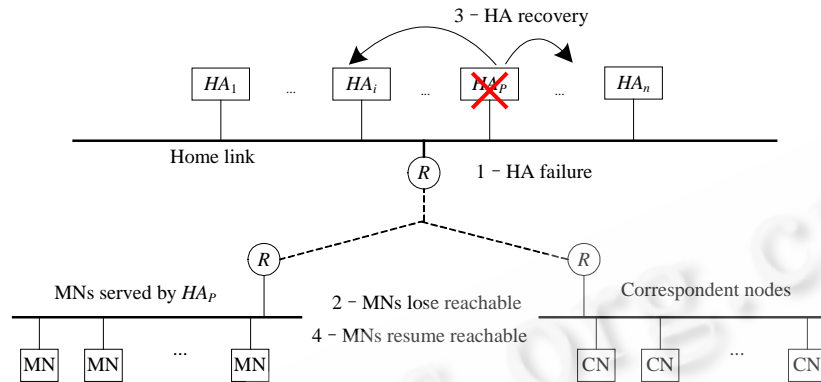


Fig.1 The procedure of HA fault-tolerant

图 1 家乡代理的容错处理过程

研究家乡代理容错方法的目的是尽量降低 CN 与 MN 之间通信中断的时间(即步骤 2 和步骤 4 之间的时间),也称为容错时间.

本文首先描述 MIPv6 中家乡代理容错问题.第 1 节对现有的家乡代理容错方法进行介绍和分析.第 2 节提出主动检测和迁移的容错方法.第 3 节对本文方法和现有方法进行比较分析.第 4 节总结全文.

1 相关工作

在提升移动 IPv6 的可靠性方面,有的从降低出错发生的角度进行研究^[4,5],有的从安全的角度进行研究^[6,7].本文从移动代理(主要是家乡代理)容错方面研究提升移动 IPv6 可靠性的方法,这方面现有的解决方案可分为两类:基于信息备份的容错方法^[8-11]和基于网络管理系统的容错方法^[12,13].

文献[8]提出了一种注册信息全备份的家乡代理容错方法,所有家乡代理维护完全相同的移动节点注册信息,当一个 HA 失效后,其他 HA 可以继续为 MN 服务,这种方法增大了注册响应延时并占用了大量存储空间.文献[9,10]提出了在家乡链路上采用非易失存储器备份注册信息的家乡代理容错方法,试图解决文献[8]中的信息冗余问题.在该方法中,当一个 HA 失效后,有效的 HA 需要花费较多时间从非易失存储器中获取注册信息,在存储器发生错误的情况下,这种方法不再有效.文献[11]提出了一种局部信息备份和动态选择备份位置的家乡代理容错方法,试图解决文献[8]中的信息冗余和文献[9,10]中的信息可靠性问题,并且考虑到了负载均衡问题.该方法需要软件模拟多个物理实体的外部行为,在信息的及时性和准确性方面存在难度.文献[12,13]提出了基于网络管理的容错方法,其主要思想是基于资源共享,把失效家乡代理/外地代理的负载重定向到那些有效的代理上.该方法需要部署强大的网络管理系统承担失效检测、备份代理选择、注册信息重新采集、负载重定向等功能,并且需要外地代理协助采集注册信息.

上述方法针对 MIPv4,没有考虑到对 MIPv6 的适用性.针对 MIPv6 的家乡代理容错,目前只有 IETF 发布的协议标准(RFC 3775)中给出的被动检测和恢复的容错方法(passive detection and recovery fault-tolerant method,简称 PDRM)可以借鉴^[2],其步骤如下,如图 2 所示.

- Step 0: MN 的当前家乡代理失效, MN 失去可寻址性.

- Step 1:MN 向其当前的家乡代理发送家乡注册消息,在规定的时间内没有收到应答.
- Step 2:MN 尝试事先设定的次数,如果都没有收到应答,则会认为其当前家乡代理失效.
- Step 3:MN 通过动态家乡代理地址发现机制(dynamical home agent address discovery,简称 DHAAD),重新获取其家乡链路上的有效家乡代理.
- Step 4:MN 选定一个有效的家乡代理,重新进行家乡注册,MN 恢复可寻址性.

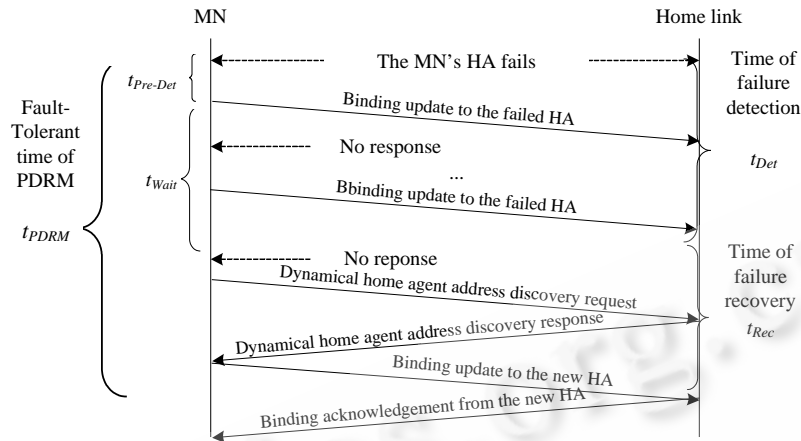


Fig.2 The passive detection and recovery HA fault-tolerant method (PDRM)

图 2 被动检测和恢复的家乡代理容错方法(PDRM)

2 主动检测和迁移的容错方法

2.1 容错方法设计思想

容错过程包括失效检测和失效恢复两个阶段,PDRM 方法中单纯依赖 MN 的注册尝试来检测家乡代理是否失效.本节提出主动检测和迁移的家乡代理容错方法(active detection and transfer fault-tolerant method,简称 ADTM),其基本思想是借助于 IPv6 提供的邻居发现机制,由家乡代理之间互相检测失效情况;一旦检测到有家乡代理失效,有效家乡代理将自动暂时接管失效家乡代理的工作,并将失效信息及有效家乡代理信息主动通知给相关 MN;MN 重新选取有效家乡代理并重新注册(如图 3 所示).

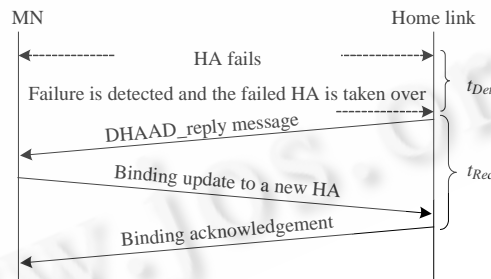


Fig.3 The active detection and transfer HA fault-tolerant method (ADTM)

图 3 主动检测和迁移的家乡代理容错方法(ADTM)

为了实现失效 HA 的快速检测和有效 HA 的自动暂时接管,必要的信息备份是必须的.提出在家乡代理之间维护环状检测和备份链的方法,家乡代理之间相互检测其有效性,所有注册信息在家乡链路上存在且仅存在 1 个备份.备份信息使得有效 HA 能够自动暂时接管失效 HA 的数据转发任务,使得 MN 在重新注册期间仍然具备可寻址性.

环状检测和备份链的设计如下:在家乡链路存在 n 个有效 HA 的情况下,设计一种明确的、结果唯一的排序

方法形对 n 个 HA 进行排序,序列首尾连结形成一个相互检测和备份的环状链 $HA_1, HA_2, \dots, HA_n, HA_1$. 因为每一个 HA 都会在链路上定期广播发送通告消息,并且设计的 HA 排序方法可以产生唯一结果,所以在任意时刻,所有 HA 上都会形成完全相同的环状链.在这个链中, HA_i 会把自己的注册信息在 HA_{i+1} 上进行唯一备份. HA_i 根据剩余生存期负责检测 HA_{i-1} 和 HA_{i+1} 的有效性:一旦检测到 HA_{i-1} 失效,暂时接管 HA_{i-1} 的家乡代理功能,向 HA_{i-1} 服务的 MN 通告 HA_{i-1} 的失效情况,向所有 HA 发布链同步消息;一旦检测到 HA_{i+1} 失效,则把自己的注册信息在 HA_{i+2} 重新备份,向所有 HA 发布链同步消息.同一链路上的各 HA 之间通过这个环状链建立起相互间备份和检测关系,因此,这个链被称为环状检测和备份链(detection&backup chain),同一链路上的所有 HA 根据收到的链同步消息更新环状检测和备份链.

2.2 容错方法实施和算法

为了实现家乡代理容错,定义家乡代理表 HAT 和注册信息表 RIT(如图 4 所示).HA 和 MN 都需要维护 HAT,其中存储当前家乡链路的所有 HA 地址,这些 HA 按照一定的规则进行排序:首先按照 HA 的优先级由高到低进行排序;对于优先级相同的 HA,则按照地址组成的字符串由小到大进行排序.除 HAT 外,每一个 HA 还需要维护 RIT.对于 HA_i 来说,通过接收来自两方面的注册信息维护 RIT:接收到来自 MN 的注册信息,创建/更新相应的注册信息条目,将该注册信息发送给 HA_{i+1} 进行备份;接收到来自 HA_{i-1} 的备份信息,创建/更新相应的注册信息条目.RIT 中备份标志的取值为 0,1,2:0 代表该 HA 服务的 MN 的注册信息;1 代表该 HA 备份的 MN 的注册信息;2 代表由该 HA 暂时充当家乡代理的 MN 的注册信息.通过这种机制,每一个家乡代理 HA_i 都把自己的注册信息在 HA_{i+1} 上进行备份,且备份标志置 1(HA_n 在 HA_1 上备份),这样, $HA_1, HA_2, \dots, HA_n, HA_1$ 形成一个环状的信息备份链.

Home agent table			Registration information table			
HA_address	HA_lifetime	HA_preference	MN_homeofaddress	MN_careofaddress	MN_lifetime	MN_backupflag

Fig.4 Definition of HAT and RIT

图 4 家乡代理表和注册信息表的定义

在 HA_i 上运行的容错算法 $HA_fault_tolerant(i)$ 见算法 1.

算法 1. 家乡代理中的容错算法.

Procedure $HA_fault_tolerant(i)$ // HA_1, \dots, HA_n 形成环状备份链,不需要考虑 i 的边界

```

{
  Timer( $HA_{i-1}(HA\_lifetime)$ ); Timer( $HA_{i+1}(HA\_lifetime)$ );
  While ( $HA_{i-1}(HA\_lifetime) > 0$  &  $HA_{i+1}(HA\_lifetime) > 0$ )
  {
    If (收到来自  $HA_j$  的家乡代理宣告消息),重置  $HA_j(HA\_lifetime)$ ;
    If (收到  $Signal\_syn\_HAT$  消息), $Syn\_HAT()$ ;
  }
  If ( $HA_{i+1}(HA\_lifetime) \leq 0$ ) //检测到  $HA_{i+1}$  失效
     $HA_i$  将自己提供服务的 MN 的注册信息备份到  $HA_{i+2}$  上;
  If ( $HA_{i-1}(HA\_lifetime) \leq 0$ ) //检测到  $HA_{i-1}$  失效
  {
    Multi_send( $Proxy\_NA\_HA_{i-1}$ ); //  $HA_i$  发送代理邻居宣告,接管失效  $HA_{i-1}$  的工作
    For (each MN in RIT with  $MN\_backupflag$ )
      Send_to_MN( $DHAAD\_Reply$ ); //向  $HA_{i-1}$  提供服务的所有 MN 通告  $HA_{i-1}$  失效
  }
  Syn_HAT();
  Multi_send( $Signal\_syn\_HAT$ ); //同步 HAT,并广播同步信息
}

```

对于移动节点来说,如果接收到来自家乡链路的动态家乡地址宣告消息,那么通过对比自己保存的 HAT 和消息中的家乡代理列表,能够确认其当前 HA 是否失效.任何一个 HA_i 收到家乡注册消息后,检查自己的 RIT 并

进行如下处理:如果该消息来自 RIT 中已有的一个 MN,且备份标志置位(1 或 2),则备份标志置 0、更新该 RIT 条目、把该条目备份到 HA_{i+1} 上;否则,按正常注册消息处理。

2.3 容错方法处理流程

假设在家乡链路上有 4 个家乡代理 HA_1, HA_2, HA_3, HA_4 ,家乡链路前缀为 $3ffe:320e:1:211::/64$,这 4 个家乡代理地址分别是 $3ffe:320e:1:211::100\sim 3ffe:320e:1:211::400, HA_1\sim HA_4$ 优先级由高到低,家乡代理 HA_i 服务的 MN 记为 MN_{i1}, MN_{i2}, \dots

在 HA_3 失效前,各 HA 之间形成正常的备份关系(如图 5(a)所示).假设在某一时刻 HA_3 失效,不再发送定期的宣告消息.根据算法 1,在 HA_3 最后一次宣告的生存期结束之后, HA_2 和 HA_4 将同时检测到 HA_3 失效.对于 HA_2 来说,会把 MN_{2i} 的注册信息在 HA_4 上进行备份,同步更新 HAT,并广播 HAT 同步信号.对于 HA_4 来说,发布代理邻居宣告消息把 $3ffe:320e:1:211::300$ 映射到 HA_4 的 MAC 地址上,向 RIT 表中所有 $MN_backupflag$ 为 1 的 MN 发送 DHAAD 应答消息,同步更新 HAT,并广播 HAT 同步信号.对于 HA_1 来说,收到 HAT 同步信号后,同步更新 HAT.这样处理完之后, HA_4 上备份了 HA_2 和 HA_3 的注册信息,同时, HA_4 还暂时充当了 MN_{3i} 的家乡代理(如图 5(b)所示).在收到 MN_{3i} 的家乡注册消息后, HA_4 才成为 MN_{3i} 真正的家乡代理,并把相应的注册消息在 HA_1 上备份(如图 5(c)所示).图 5 中,对于任意一个 HA 来说,圆圈中的数字标识 n 表示其正承担着 HAN 的工作, n^- 表示其中备份着 HAN 的信息, n^+ 表示其暂时接管 HAN 的工作.

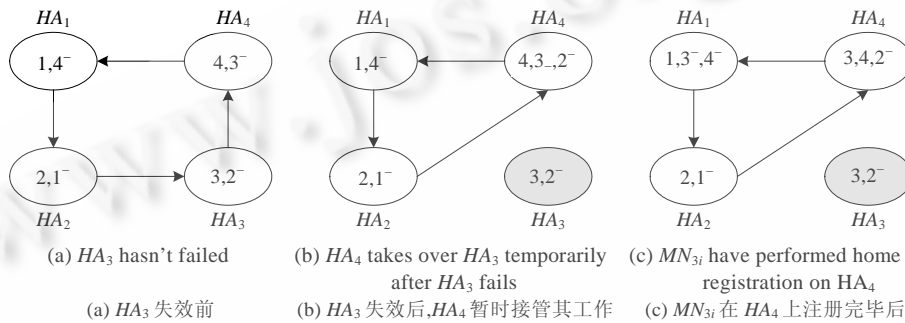


Fig.5 The backup relationship among HAs during HA_3 fault-tolerant

图 5 HA_3 容错过程中各 HA 之间的备份关系

3 方案分析和评价

IETF 标准中提出的 PDRM 方案是目前唯一针对移动 IPv6 家乡代理的容错方法,本节将对对我们提出的 ADTM 方案和 PDRM 方案进行分析比较和定量评价。

3.1 容错时间对比分析

移动节点在某一个家乡代理上注册以后,如果该家乡代理失效,它所服务的所有移动节点将失去可寻址性.把移动节点失去可寻址性的这段时间称为容错时间,下面对 PDRM 和 ADTM 方法的容错时间进行分析比较,表 1 为分析容错时间时用到的各时间常量。

Table 1 Time constants used in FTT evaluation

表 1 分析容错时间用到的时间常量

T_{Dom}	The resident time of MN in every domain
T_{HR}	The lifetime of home registration
T_{Path}	The transmissions latency from MN's location to its home
T_{Wait}	The period that MN tries home registration before it can determine its current HA failure
T_{HA}	The lifetime of HA in HA advertisement message

从第 2 节的分析可以看出,PDRM 方案的检测和恢复依赖于特定事件触发(家乡注册尝试)和特定行为(绑定

确认)不发生,其容错时间主要消耗在启动家乡注册之前的等待时间.

$$t_{PDRM} = t_{Det} + t_{Rec} = t_{Pre-Det} + t_{Wait} + t_{Rec} \quad (1)$$

PDRM 的家乡代理失效检测由 MN 通过发起家乡注册来启动,在两种情况下,MN 可能发起家乡注册:前一次家乡注册信息即将过期,或者 MN 移动到新的位置.设 t_{HR} 和 t_{Dom} 分别为 T_{HR} 和 T_{Dom} 的剩余时间,根据剩余时间理论, t_{HR}, t_{Dom} 分别服从 $[0, T_{HR}]$ 和 $[0, T_{Dom}]$ 上的均匀分布.

$$t_{Pre-Det} = \min(t_{HR}, t_{Dom}) \quad (2)$$

$$f_{Pre-Det}(t) = f_{HR}(t) \int_t^\infty f_{Dom}(\tau) d\tau + f_{Dom}(t) \int_t^\infty f_{HR}(\tau) d\tau = \frac{1}{T_{HR}} + \frac{1}{T_{Dom}} - \frac{2t}{T_{HR} \times T_{Dom}} \quad (3)$$

$$E(t_{Pre-Det}) = \int_0^\infty t \times f_{Pre-Det}(t) dt = \left(\frac{1}{T_{HR}} + \frac{1}{T_{Dom}} \right) \times \frac{T_0^2}{2} - \frac{2T_0^3}{3T_{HR} \times T_{Dom}}, \quad T_0 = \min(T_{HR}, T_{Dom}) \quad (4)$$

忽略消息在节点内部的生成时间和处理时间,从 MN 尝试注册到完成注册的时间为

$$E(t_{Wait} + t_{Rec}) = T_{Wait} + 3 \times T_{Path} \quad (5)$$

在式(1)中,各时间变量相互独立,由式(1)、式(4)、式(5)可知,PDRM 方案的容错时间为

$$E(t_{PDRM}) = \left(\frac{1}{T_{HR}} + \frac{1}{T_{Dom}} \right) \times \frac{T_0^2}{2} - \frac{2T_0^3}{3T_{HR} \times T_{Dom}} + 3 \times T_{Path} + T_{Wait}, \quad T_0 = \min(T_{HR}, T_{Dom}) \quad (6)$$

用 t_{HA} 表示 T_{HA} 的剩余时间,根据图 3,ADTM 方案的容错时间为

$$E(t_{ADTM}) = 2 \times T_{Path} + \int_0^{T_{HA}} t \times f(t_{HA}) dt = 2 \times T_{Path} + \frac{T_{HA}}{2} \quad (7)$$

在移动 IPv6 标准中, T_{Wait} 的默认值是 1.5s, T_{HA} 的默认值为 3s^[2],因此,两种方案的容错时间之差为

$$E(t_{PDRM}) - E(t_{ADTM}) = E(t_{Pre-Det}) + 3 \times T_{Path} + 1.5 - 2 \times T_{Path} - \frac{3}{2} = E(t_{Pre-Det}) + T_{Path} > 0 \quad (8)$$

由式(8)可知,ADTM 方案的容错时间要优于 IETF 的 PDRM 方案,其主要区别在于,PDRM 方案启动重注册之前的等待时间再加上请求有效家乡代理的传输延时,而在 ADTM 方案中,有效 HA 检测到有 HA 失效后,会主动向相关 MN 通报.由协议标准可知,家乡注册的超时时间默认为 3s,这个时间应该大于绑定更新从移动节点传到家乡链路的时间与绑定确认从家乡链路传到移动节点的时间之和,即 $2 \times T_{Path} \leq 1.5$,因此, $T_{Path} \leq 0.75$.通过计算得到两种方案的容错时间(如图 6 所示).由式(4)可知:

$$E(t_{Pre-Det}) = \begin{cases} \frac{T_{HR}}{2} - \frac{T_{HR}^2}{6 \times T_{Dom}}, & T_{HR} \leq T_{Dom} \\ \frac{T_{Dom}}{2} - \frac{T_{Dom}^2}{6 \times T_{HR}}, & T_{Dom} \leq T_{HR} \end{cases} \quad (9)$$

T_{Dom} 和 T_{HR} 具有对称关系,可通过固定其中一个来寻找 $E(t_{Pre-Det})$ 随另一个的变化规律.图 7 给出了 T_{HR} 取值分别为 1,3,5 时, $E(t_{Pre-Det})$ 随 T_{Dom} 的变化规律.

由图 6、图 7 可知,在 PDRM 方案中, T_{Dom} 越小,即 MN 的移动频率越快,容错时间越小; T_{HR} 越小,即每次家乡注册的有效期越短,容错时间越小.因此,在 MN 移动频率越慢、家乡注册有效期越长的移动 IPv6 网络中,本文提出的 ADTM 方案越能体现出优势.

3.2 成本分析

容错处理开销主要包括存储开销和信令开销.在存储开销方面,PDRM 方案由于没有采用信息备份,因而不存在额外的存储开销;而 ADTM 方案采用环状备份链备份注册信息,比 PDRM 需要更大的存储空间.在信令开销方面,在 PDRM 方案中,对于一个 MN 来说,如果其当前 HA 失效,需要经过 4 次远程交互才能完成容错处理过程;在 ADTM 方案中,只需经过 2 次远程交互就能完成容错处理过程.

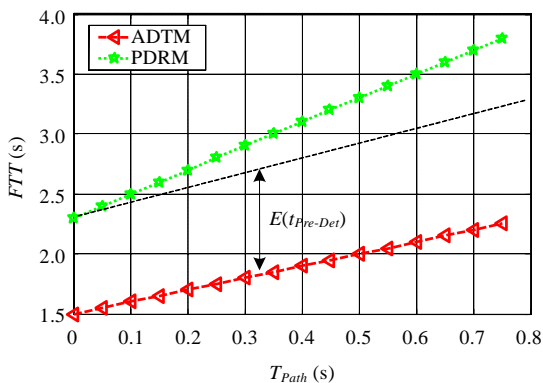


Fig.6 The FTTs of PDRM and ADTM
图 6 PDRM 方案和 ADTM 方案的容错时间

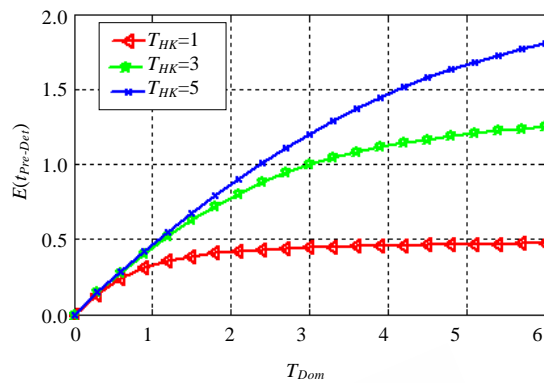


Fig.7 Relationship of $E(t_{Pre-Det})$ with T_{Dom} and T_{HR}
图 7 $E(t_{Pre-Det})$ 与 T_{Dom} 和 T_{HR} 之间的关系

3.3 对多HA同时失效的处理

在特定情况下,可能有多个HA同时失效,或者在一个HA失效的容错过程尚未处理完成时又有HA失效. PDRM 方案中,容错处理是一个离散的过程,其处理方式和处理能力不受失效 HA 数目的影响,能够处理多 HA 同时失效.在 ADTM 方案中,环状备份链中非相邻 HA 同时失效,不影响容错处理的过程和延时;若相邻 HA 同时失效,根据容错处理算法,环状备份链中排在前面的失效 HA 的容错延时退化为 PDRM 方案的容错延时,排在最后面的 HA 的容错延时不受影响.

3.4 综合对比分析

通过本节的分析,可以对协议标准中提出的 PDRM 方案与本文提出的 ADTM 方案进行综合对比(见表 2).

Table 2 Comparison result between PDRM and ADTM

表 2 PDRM 和 ADTM 的综合对比分析

	PDRM	ADTM
Object	Reduce the influence of HA failure to MNs' reachability	The same with PDRM
Who performs failure detection?	Mobile node	Home agent
Method of failure detection	The failure HA can't be detected unless its MN starts to attempt home registration	All HAs in the same link detect the validation of each other
Who performs failure recovery?	Mobile node and home agent	Home agent
Method of failure recovery	MN obtains the valid HAs, selects a new one and performs home registration on it	The next valid HA in D&B chain takes over the failure HA temporarily
Information backup and transfer	No	Yes
Transparent to MN	No	Yes
Infrastructure needed	No	No
Treatment of multiple failure HAs	Independent of the number of failure HAs	For the adjacent multiple failure HAs, the last HA in D&B chain isn't influenced, but others degrade to PDRM
Conclusion	Passive detection and recovery bring the longer latency and the more signal cost	Active detection and information transfer make the valid HA take over the failure HA automatically, so reduce the latency and signal cost

4 结论

移动 IPv6 协议标准中定义了家乡代理失效时的容错处理过程,但其中提出的方法基于失效的被动检测和

恢复,存在容错时间长、全局信令开销大等不足.在分析现有几种家乡代理容错方法的基础上,本文提出了适用于移动 IPv6 的主动检测和迁移的家乡代理容错方法,采用环状检测和备份链的方式对家乡代理失效情况进行检测,对移动节点在家乡链路上的注册信息进行备份.当某一个家乡代理失效时,有效家乡代理能够主动检测并向相关 MN 进行通告,并由备份家乡代理暂时接管失效 HA 的服务.通过主动的失效检测和恢复过程,能够很大地降低容错时间,从而使家乡代理失效对移动节点可寻址性造成的影响降到最低.通过理论分析和比较,证明了本文方法的有效性.目前来看,本文提出的方法对移动节点透明,仅依赖于家乡代理之间的相互检测、自动接管并主动启动恢复过程,移动节点只是被动地执行家乡代理的请求.在容错时间的降低方面还有空间,研究移动节点和家乡代理联动的容错方法应该是下一步研究中重点关注的内容.

References:

- [1] Perkins C. IP mobility support. IETF RFC 3220, 2002.
- [2] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility support in IPv6. IETF RFC 3775, 2004.
- [3] Wang Y, Wei G, Sun Y. A new mobility management scheme for mobile IPv6. *Acta Electronica Sinica*, 2004,32(1):1-4 (in Chinese with English abstract).
- [4] Yen YS, Hsu CC, Chao HC. Distributed balancing with application-layer anycast for home agent discovery on the mobile IPv6. In: Proc. of the Int'l Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. 2005. 1277-1282. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10391/33023/01549596.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=1549596>
- [5] Shi H, Goto S. Utilizing multiple home links in mobile IPv6. In: Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC). 2004. 149-154. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9178/29114/01311534.pdf?arnumber=1311534>
- [6] Faizan J, Rewini HE, Khalil M. VHARP: Virtual home agent reliability protocol for mobile IPv6 based networks. In: Proc. of the Int'l Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. 2005. 1295-1300. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10391/33023/01549599.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=1549599>
- [7] Fathi H, Shin SH, *et al.* Leakage-Resilient security architecture for mobile IPv6 in wireless overlay networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005,23(11):2182-2193.
- [8] Ghosh R, Varghese G. Fault-Tolerant mobile IP. Technical Report, WUCS-98-11, Washington: Washington University, 1998.
- [9] Ahn JH, Hwang CS. Efficient fault-tolerant protocol for mobility agents in mobile IP. In: Proc. of the Int'l Parallel and Distributed Processing Symp. (IPDPS). 2001. 1273-1280. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7373/20001/00925103.pdf?arnumber=925103>
- [10] Ahn JH, Hwang CS. Low-Cost fault-tolerance for mobile nodes in mobile IP based systems. In: Proc. of the Int'l Parallel and Distributed Processing Symp. (IPDPS). 2001. 508-513. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7338/19870/00918752.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=918752>
- [11] Chuang MH. Fault tolerance for home agents in mobile IP [MS. Thesis]. Taiwan: National Yunlin University of Science and Technology, 2003.
- [12] Lin JW, Arul J. An efficient fault-tolerant approach for mobile IP in wireless systems. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2003, 2(3):207-220.
- [13] Lin JW, Tsai J, Huang CY. A dynamical redirection approach to enhancing mobile IP with fault tolerance in cellular systems. In: Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conf. (GlobeCom). 2002. 646-650. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/8454/26632/01188158.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=1188158>

附中文参考文献:

- [3] 王煜,韦岗,孙玉.一种新的移动 IPv6 移动性管理策略.电子学报,2004,32(1):1-4.



张玉军(1976—),男,河北衡水人,博士,副研究员,CCF 高级会员,主要研究领域为移动互联网.



肖文曦(1980—),女,博士生,主要研究领域为无线移动网络安全.



张瀚文(1981—),女,博士生,主要研究领域为移动网络安全.



李忠诚(1962—),男,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为计算机网络.