

乒乓切换在移动 IPv6 扩展协议中的性能分析

贾宗璞¹,王红梅²,刘淑芬¹

(1. 河南理工大学计算机科学与技术学院,河南焦作 454003;2. 江苏科技大学电子信息学院,江苏镇江 212003)

摘 要: 综合评价了多种移动 IPv6 扩展协议在基于端到端的 TCP 协议 L3 层的切换性能,模拟仿真了乒乓切换在 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 FHMIPv6 中的时延、吞吐量和丢包现象,提出了一种优化的 FHMIPv6 方案.该方案通过定义新的 Hop-by-Hop 选项报头 TM、PCoA 表和双向隧道表,实现 MN 的快速、平滑切换,比 FHMIPv6 进一步减少了时延,提高了吞吐量,降低了丢包率.

关键词: 乒乓切换; MIPv6; FMIPv6; HMIPv6; FHMIPv6

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 03-0592-06

Performance Analysis of Ping-pong Handover for Mobile IPv6 Extensions

JIA Zong-pu¹, WANG Hong-mei², LIU Shu-fen¹

(1. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China;

2. School of Electronics Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, Jiangsu 212003, China)

Abstract: Considering lack of comparative studies on Ping-pong handover, a comprehensive evaluation was carried out to estimate the handover performance of layer-3 of TCP protocol based on end-to-end for various Mobile IPv6 extensions. Simultaneously, the latency, throughput and packets loss rate of ping-pong handover in classical mobile IPv6 protocols such as MIPv6, HMIPv6, FMIPv6 and FHMIPv6 are simulated. Based on which, a novel scheme, optimized FHMIPv6 is proposed. A new Hop-by-Hop option header named TM (Tunnel Message) header, PCoA Table and Tunnel Table are defined in this scheme to implement MN's fast and seamless handover. Compared with FHMIPv6, the new scheme can further reduce the handover latency and eliminate the possibility of packets loss as well as improve the whole throughput.

Key words: Ping-pong handover; MIPv6; FMIPv6; HMIPv6; FHMIPv6

1 引言

在移动 IP 切换技术中,存在着一个不可避免、经常出现而又比较棘手的问题——乒乓切换,即移动台在位置区域的边界来回移动时,会产生频繁的位置更新,导致大量的位置更新开销和系统通信开销.乒乓切换会引起刚预留的资源由于移动节点的离开而被释放,刚被释放的资源由于移动节点的返回又要重新预留.资源的频繁预留及释放既增加了区域网络的信令负担,又增加了切换时延和丢包率,因而不能满足移动用户的 QoS 需求.因此,当移动节点作乒乓式移动时,如何对资源进行管理,减少上述问题,是一个值得研究的重要课题.

切换时延是移动节点在切换过程中包丢失和吞吐量下降的最主要原因,尤其当移动节点在两个接入节点之间做乒乓切换时,这种现象更为明显.现有方案在乒乓切换方面做的研究相当少,即使有些这方面的资

料^[1~5],它们不是把问题集中在某个协议的分析就是某个改进方案的设计上,如文[2,3];文[1][4,5]对乒乓切换做了一些研究,但它们同时也掺杂着线性切换部分,没有综合分析现有移动 IPv6 经典方案在乒乓切换中的性能——时延、丢包率和吞吐量等.因此,在基于乒乓切换的情况下,如何全面、系统的分析移动 IPv6 各协议的性能,以及设计一种低时延、低丢包率和高吞吐量的方案,显得尤为重要.

2 移动 IPv6 的经典协议

2.1 移动 IPv6(MIPv6)

移动 IPv6^[6]通过给节点提供至少两个地址来支持节点的移动性:一是家乡地址,由家乡代理(HA)提供,是固定不变的;二是转交地址(CoA),由外地代理(FA)提供,它随着节点移动到不同的网络而相应地改变.

移动 IPv6 以相同的方式处理域内移动(即微移动)

和域间移动(即宏移动),只要移动节点(MN)改变位置,就必须向 HA 和通信对端(CN)发送绑定更新,而不管这种移动是域内移动还是域间移动。

当 MN 改变它的位置或绑定周期到期时,它必须向 CNs 和 HA 周期性地更新它的转交地址。

2.2 层次移动 IPv6(HMIPv6)

HMIPv6^[7]借助于移动锚点(MAP)来区分域内移动和域间移动,实现 MN 本地注册,减小 MN 与区域外网络间的信令交互负载。MAP 的作用类似于家乡代理,负责处理 MN 在本地域内的移动。这样,一个 MN 就拥有两个地址,一个是区域转交地址(RCoA),一个是链路转交地址(LCoA),从而实现移动管理的分层。由 MAP 截获发往 RCoA 的包,并通过隧道转发至新的 LCoA。当 MN 在 MAP 域内移动时,它只需向 MAP 注册新的 LCoA,由于 RCoA 没有改变,对于外部的 CN 来说,MN 的域内移动是透明的。只有当切换发生在两个 MAP 域之间时,才需要将新的 RCoA 向 HA 和 CN 注册。由于向 MAP 更新绑定的时间远远小于向远端的 HA 和 CN 更新绑定的时间,因此,HMIPv6 提高了 MN 在 MAP 域内移动时的绑定速度,一定程度上缩短了切换延时。

2.3 快速移动 IPv6(FMIPv6)

FMIPv6^[8]也以低地址配置时延而著称,这是因为它引入了链路层移动预测机制,能在 MN 离开原接入节点之前就完成转交地址的配置。快速切换由三部分组成:切换发起阶段、建立隧道阶段和转发包时期。

切换发起阶段以 MN 向 PAR 发送路由请求代理(RtSolPr)为开始。RtSolPr 表示 MN 将要发生一次切换,它包含了 NAR 的链路地址(MN 可以从 NAR 的路由通告(PrRtAdv)中得知)。PAR 将会返回一个代理路由通告(PrRtAdv),告知 MN:1)NAR 不可知,或 2)NAR 可知,且以相同的地址相连,亦或 3)NAR 可知,但以特定的新的地址前缀相连。之后,MN 将以新的 CoA 向 PAR 发送一个快速绑定消息(FBU),而 PAR 向 MN 返回一个快速绑定应答(FBack)以表示绑定成功。

在隧道建立期,FMIPv6 将在 PAR 与 NAR 之间建立一条隧道。为了实现这部分,PAR 会向 NAR 发送移交切换初始化信息,如同意,NAR 会向 PAR 返回初始化应答(Hack)。

转发包阶段主要是为了平滑移交切换过程,这个过程直到 MN 向 HA 的注册完成为止。PAR 与 NAR 之间的转发是基于“预定隙”机制的,即由网络预定移动节点将要发生的切换时机。这种方法遇到一个非常棘手的问题——如何把握切换时机,因为无论太早或是太晚都会导致大量包的丢失。当到达新的 NAR 后,MN 就会发送一个快速邻居通告(FNA)以便 NAR 转发 CN

发往 MN 的数据流。

2.4 层次移动 IPv6 的快速切换(FHMIPv6)

将 FMIPv6 和 HMIPv6 结合在一起的 FHMIPv6^[9]利用 HMIPv6 的层次结构进一步降低了 FMIPv6 的切换时延。与 FMIPv6 不同的是,FHMIPv6 在 MAP 和 NAR 之间(而不是 PAR 和 NAR 之间)建立快速切换的分组转发隧道。为此,MN 和 MAP(而不是和 PAR)交换快速切换消息。FHMIPv6 仍然使用 FMIPv6 中的消息完成快速切换,不必定义任何新的消息。

3 优化的 FHMIPv6

3.1 问题定义

FHMIPv6 利用 HMIPv6 的层次结构进一步降低了 FMIPv6 的切换时延,并且它在 MAP 和 NAR 之间(而不是 PAR 和 NAR 之间)建立快速切换的分组转发隧道。这种机制使得该方案比 MIPv6、FMIPv6 和 HMIPv6 都优越,但也正是这种机制使 FHMIPv6 在乒乓切换的情况下难以发挥其优势。因为,当 MN 在 PAR 和 NAR 之间频繁地来回切换时,MAP 需要快速地与 MN 所接入的 AR 建立隧道并撤消原来存在的隧道,当乒乓切换的时间间隔越小,MAP 就越频繁地忙于建立这边的隧道和撤消那边的隧道,这将产生许多的信令交互(本文不讨论这点),MAP 和 ARs(PAR 和 NAR)的性能将受到严重影响;即使利用双播机制,MAP 同时维持与 PAR 和 NAR 之间的两条隧道,虽然能减少包的丢失,但降低了 MAP 与 ARs 之间的链路带宽利用率和总的有效实际吞吐量。

3.2 主要思想

当 MN 发生乒乓切换(即 MN 在 PAR 和 NAR 间频繁切换)时,我们定义一新的 IPv6 Hop-by-Hop 选项报头,并将其捎带在 NAR 向 PAR 发送的最后一分组数据包的确中,告知 PAR,MN 不久将会移回 PAR 域,以便 PAR 提前做好其于 NAR 间之前建立好的双向隧道,

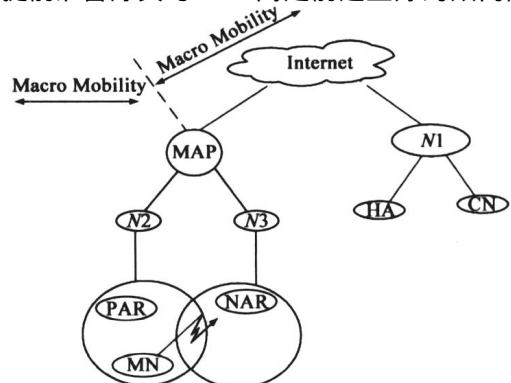


图1 乒乓切换示意图

注:本文只讨论域内移动的乒乓切换。

此后, PAR 和 NAR 将维持这条双向隧道直至乒乓切换结束, 从而实现 MN 的快速平滑切换. 我们称这种方案为优化的 FHMPv6 (FHMPv6-op), 它与 FHMPv6 不同的是, 采用了 FMIPv6 的 PAR - NAR 之间的快速切换分组转发隧道而不是 MAP - NAR 隧道. 移交切换图如 1 所示.

3.3 TM 报头的定义

新定义的 IPv6 Hop-by-Hop 选项报头, 称之为 TM (Tunneling Message) 报头. 由于 TM 是 NAR 向 PAR 对最后一分组数据包进行确认时发送的消息, 可将 TM 报头放入 NAR 对 PAR 的数据包确认中. 这不仅可以最大限度地利用已有信令, 还能在业务数据发送前建立好连接.

TM 报头的定义采用类型-长度-值 (TLV) 的编码方式. 如图 2 所示:

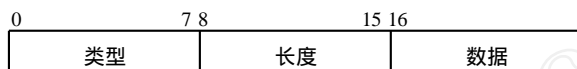


图 2 TM 报头定义

图中各域的设置和含义如下:

类型: 占 8 位, 前 3 位为 0, 表示当路由器不认识该选项时, 可以忽略, 且该选项不能改变到达目的地的选路, 后 5 位设置为表明报头的类型为 TM 报头, 其值可以选择尚未使用的 Hop-by-Hop 选项报头的编码值^[10].

长度: 占 8 位, 以字节为单位, 标识 TM 报头的后续各域的总长度.

数据: 选项数据对应的是 TM 选项类型的数据值, 其值也可以选择尚未使用的 Hop-by-Hop 选项报头的选项数据的编码值^[10].

3.4 PAR 隧道状态表

由文献[11], 引入新的概念: PAR 隧道状态表. 该表用于记录其 PAR 与多个 NAR 之间的隧道连接信息, 因为在实际的网络中, 一个 AR 通常与多个其他 AR 相连. 连接状态为 1: PAR 与 NAR 之间的单向隧道是通的, 如表 1 中 PCoA1 - NCoA2; 连接状态为 0: PAR 与 NAR 之间的单向隧道是阻塞的. 在规定时间内, 如果连接状态被置为 1, 则可启动该单向隧道, 否则该隧道被阻止. 只有当 PAR 和 NAR 两个隧道表的连接状态都是 1 时, 才表示该双向隧道已被启动.

表 1 PAR 隧道表定义

连接	连接状态	PAR IP 地址	PAR 端口	NAR IP 地址	NAR 端口
1	1	PCoA1	1	NCoA2	2
2	0	PCoA2	2	NCoA5	5
...

NAR 也建立相似的 NAR 隧道状态表, 表结构同上表.

3.5 改进的操作流程

改进的操作流程如图 3, 具体如下:

(1) MN 第一次从 PAR 移到 NAR, 完成了与 NAR 的绑定更新 (BU), 该过程按 FHMPv6 进行.

(2) PAR 标记该最后的分组, 通过隧道向 NAR 转发数据分组, 直至发送完最后一个分组.

(3) NAR 向 PAR 发送确认, 在对最后一分组进行确认时捎带发送包含 TM 报头的消息: MN 不久还要回到原来的域, 希望得到原 PAR 的服务.

(4) PAR 收到消息后, 向 NAR 发送确认 TMAck, 同时在 PAR 表中, 将 PAR 和 NAR 的隧道状态置为 0, 即不立即撤销其与 NAR 建立好的双向隧道, 而是等待唤醒.

(5) 当 MN 从 NAR 又回到 PAR 时, NAR 就向 PAR 发送一唤醒信号 TW, 并在 NAR 表中, 将 NAR 与 PAR 的隧道状态置为 1.

(6) PAR 向 NAR 发送确认 TWAck, 并将 PAR 表中的 PAR 与 NAR 隧道状态置为 1.

这样 PAR 和 NAR 之间的双向隧道就启动了, NAR 就可以通过隧道向 PAR 发送数据分组了.



图 3 改进的操作流程

4 性能分析

4.1 模拟场景

我们模拟的目的是检查各种移动 IPv6 扩展协议在 L3 层 (IP 层) 基于可靠的端到端 TCP 通信协议的切换时延, 由于批量数据流 (bulk data flow) 在切换过程中更易于中断, 我们选择批量数据流而不是交互性数据流.

类似 Shariq 等在^[1]和 Hsieh 等在^[4]中的设置, 我们搭建的模拟场景如图 4 所示. 通信对端 CN 和家乡代理 HA 通过中间节点 N1 (虚构) 与 MAP 相连, 这部分模拟宏移动, 链路状态分别是: 带宽 100M/s, 时延 2ms; 100 M/s 和 50ms; PAR 和 NAR 分别通过中间节点 N2 和 N3 (虚构) 与 MAP 相连, 这部分模拟微移动; PAR 和 NAR 与中间节点 N2 和 N3 之间的链路带宽和时延一样, 分别是: 1M/s 和 2ms; N2 和 N3 与 MAP 相连, 链路设置为:

带宽 10M/s, 时延 2ms; 移动节点 MN 以 1m/s 的速度从 PAR 移向 NAR. 除了中间节点到各 ARs (PAR 和 NAR) 之间的链路采用去尾队列 (droptail FIFO) 方式外, 其余链路均采用 RED (Randon Early Detection). PAR 与 NAR 之间的距离为 70m, MN 与 ARs 之间采用 802.11 作为无线接入技术, 各接入节点的有效覆盖范围为半径 40m. 将 TCP 源代理绑定到 CN 上, 而 MN 上绑定着 TCP 接入代理. TCP 包大小为 512 bytes, 窗口尺寸为 32. 当模拟开始 5s 后, CN 与 MN 之间的链路上将会传输批量数据流. 总模拟时间是 80s.

与文献[1, 4]不同的是: 我们简化了模拟场景, MAP 域只引入了两个中间节点, 这样避免了 MN 在多个 (> 2 个) ARs 交叠区进行乒乓切换.

使用图 4 所示的场景, 我们模拟移动节点的乒乓切换. MN 在 10s 时以 1m/s 的速度 (大约人走路的速度) 从 PAR 向 NAR 移动, 在进入模拟中的 45s 时, MN 正处于 PAR 与 NAR 的中点处, 发起移动切换, 并且在 46s 时, (刚刚过中点), MN 又调转方向向 PAR 移动, 然后 MN 每隔 2s 如此反复, 直到 52s 最终向 NAR 移动 (见图 5). 我们采用 midway 切换算法^[4].

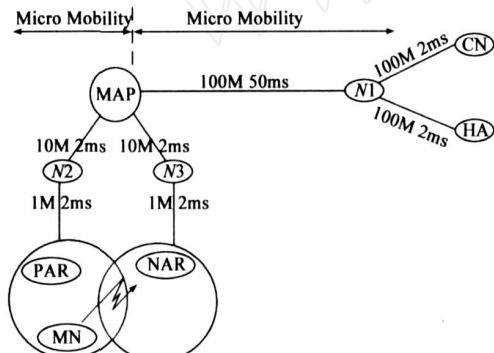


图4 模拟网络拓扑结构

在 MIPv6 和 FMIPv6 方案中, MAP 只是网络中的一个中间节点, 起到路由的作用; 在 HMIPv6 和 FHMIPv6 中, MAP 为区域顶端管理者, 可视为区域性家乡代理.

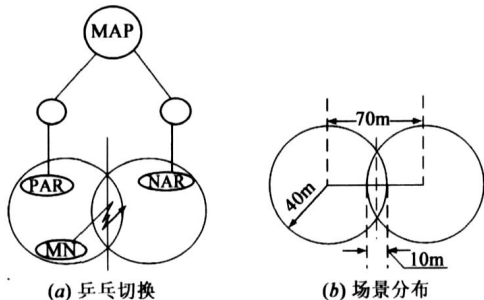


图5 乒乓切换场景图

4.2 实验结果分析

我们模拟了乒乓切换在 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6、FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 的性能. L2 层切换时延设

置为 20ms, 地址解析时间为 100ms^[1, 4]. 值得注意的是此处的地址解析时间是指 MN 获取一个新转交地址 (nCoA) 的时间. 此外, 我们还分析了 TCP 有效吞吐量和时延.

我们定义一个衡量切换时延的参数 var (单位: ms) ——在切换过程中, 第一个被 CN 重传的包被重传的时刻与切换前这个包被 CN 发送的时刻之间的差值, 不同的协议方案, var 的值不同; 另外, 以常数 10ms 表示 MN 与 ARs 之间的无线链路时延; 以常数 60ms 表示 CN 与 ARs 之间的单程链路时延, 因为按照图 4 所示的模拟网络拓扑结构, 所途经的线路为: CN—N1—HA—N1—MAP—N2 (或 N3)—PAR (或 NAR) (路由未优化); D (单位: ms) 表示总的切换时延, 是指在切换期间第一个被 CN 重传的包被 CN 首次发出的时刻与这个包被 MN 接收时刻的差值, 它的计算公式为: $D = var + 10 + 60$.

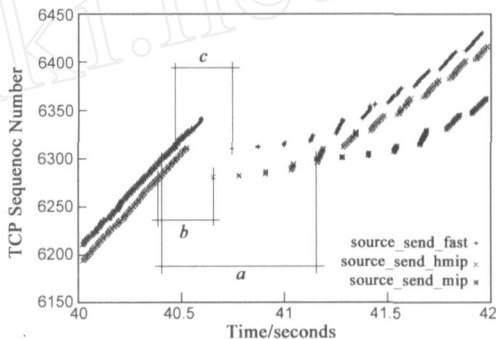


图6 MIPv6、FMIPv6 和 HMIPv6 的时延比较

图 6 从源发送端 (CN) 角度描述了 MIPv6、FMIPv6 和 HMIPv6 的时延比较分析. 在 MIPv6 方案中, 参数 var 为 a, 其值约为 747ms; D 的值为 817ms; 在 HMIPv6 中, var 在图 6 中的标识为 b, 其值约为 259ms, D 为 329ms; c 表示 FMIPv6 的 var, 约为 291ms, D 为 361ms. 这与文[4]的相关数据接近.

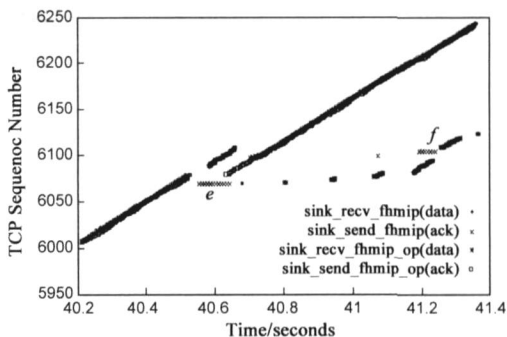


图7 FHMIPv6 和 FHMIPv6-op 的时延比较

图 7 从 TCP 接收者 (MN) 的角度比较分析了 FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 的时延情况. 图中分别以 sink_rcv_fmip (data) 和 sink_rcv_fmip_op (data) 代表 FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 方案 MN 接收包序列的情况; 以 sink_send_fmip (ack) 和 sink_send_fmip_op (ack)

代表 FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 的 MN 发送的确认信息. 表示优化的 FHMIPv6 的 sink_recv_fmip_op(data) 曲线和 sink_send_fmip_op(ack) 曲线在整个切换过程中始终重合在一起,重合曲线只有在约 40.52s ~ 40.62s 之间被中断,这说明优化的 FHMIPv6 方案的总切换时延 D 约为 100ms,在模拟切换过程中,我们并未发现重传包,故而不能提供 var 的值. 描述 FHMIPv6 方案的 sink_recv_fmip(data) 和 sink_send_fmip(data) 曲线在 40.52s 之前与优化的 FHMIPv6 重合, FHMIPv6 在 41.25s (即图中标识的 f 处) 后才恢复正常,整个切换过程发生在 40.52s ~ 41.25s 之间,耗时约 730ms (注意:这与我们前文定义的 D 是不同的含义). FHMIPv6 在 e 处发生 L2 层切换,一些包被丢失,但由于 PAR 与 NAR 之间的快速转发机制, MN 还能收到一些转发的包,可这些包是乱序的,故而 MN 发送确认帧,其中包含了所期望的包序列号,这也是 e 处 sink_recv_fmip(data) 和 sink_send_fmip(data) 曲线分离的原因. 从 40.52s 后 FHMIPv6 曲线位于优化的 FHMIPv6 之下,这说明 FHMIPv6 没有优化的 FHMIPv6 性能好.

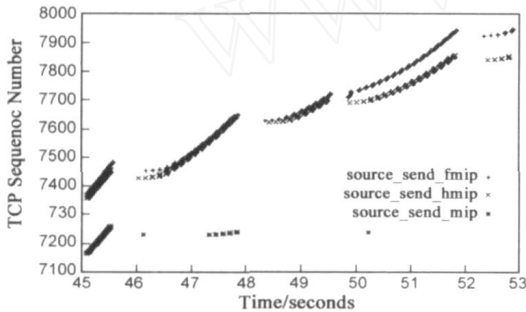


图8 MIPv6, FMIPv6和HMIPv6的吞吐量比较

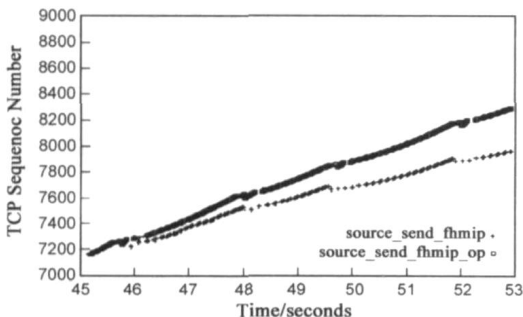


图9 FHMIPv6和FHMIPv6-op的吞吐量比较

我们还检查了各扩展协议在乒乓切换下的吞吐量. 图 8 和图 9 主要从源发送端 (CN) 的角度来描述 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6、FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 在乒乓切换下吞吐量的比较分析. 在发生乒乓切换的时间 (46s ~ 52s) 内,除了 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6、FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 的曲线都表现出一个振荡性的增长趋势. 图 8 表明,FMIPv6 和 HMIPv6 比 MIPv6 的性能好; MIPv6 在乒乓切换模式下 TCP 流几乎完全被中断,因为

在乒乓切换模拟中,2s 时间对 MIPv6 来说太短, MIPv6 来不及完成一次线性切换,故而它表现的性能最差. 在图 9 中, FHMIPv6 和优化的 FHMIPv6 比前三种方案性能都好,但 FHMIPv6 也出现较严重的节流现象(如斜率的下降),性能最好的是优化的 FHMIPv6 方案,它的曲线几乎是一条直线,吞吐量几乎保持恒定.

结合图 8 和图 9, 应该注意的是:如果我们缩短乒乓切换的时间间隔,除了优化的 FHMIPv6 方案,几乎其它所有的方案都像 MIPv6 一样会崩溃.

表 2 阐释了各协议框架在乒乓切换过程中的总切换时延、第一个包被重传的平均时间和平均有效实际吞吐量.

表 2 性能对比表

协议	总切换时延 (ms)	第一个包被重传的平均时间 (ms)	平均有效实际吞吐量 (KB/s)	丢包率 (%)
MIPv6	817	747	83.820	18.852
HMIPv6	329	259	91.587	11.333
FMIPv6	361	291	90.240	12.637
FHMIPv6	273	203	93.867	9.125
FHMIPv6-op	100	-	101.574	1.664
No handover	0	0	103.293	0

注:总切换时延 (D) (ms) 是指在切换期间第一个被 CN 重传的包被 CN 首次发出的时刻与这个包被 MN 接收时刻的差值.

第一个包被重传的平均时间 (ms) 是指在切换期间第一个被 CN 重传的包的重传时刻与 CN 首次发送这个包的时刻的差值.

平均有效实际吞吐量 (Kbytes/s) 是指单位时间内接收端实际接收到的有效数据量.

5 结论

本文针对乒乓切换综合评价了各种移动 IPv6 扩展协议在基于端到端的 TCP 协议的 L3 层切换性能. 我们模拟仿真了乒乓切换在四种扩展协议——MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 FHMIPv6 中的时延、吞吐量和丢包现象. 结果表明: FHMIPv6 方案性能最佳,其次是 HMIPv6 和 FMIPv6,最差的是 MIPv6. 此外,我们提出了一种优化的 FHMIPv6 方案,该方案通过定义了新的 Hop-by-Hop 选项报头 TM、PCoA 表和双向隧道表,实现 MN 的快速、平滑乒乓切换. 实验表明:优化的 FHMIPv6 比 FHMIPv6 进一步减小了时延,提高了吞吐量,降低了丢包率.

参考文献:

[1] Shariq Haseeb, Ahmad Faris Ismail. Handoff latency analysis of mobile IPv6 protocol variations [J]. Computer Communications, Nature-Inspired Distributed Computing, 2007, (30): 849 - 855.

[2] Zongkai Yang, Yuming Wang, et al.. Fast seamless handover scheme and cost performance optimization for ping-pong type

- of movement[J]. IEEE PIMRC, 2005, (4): 2131 - 2135.
- [3] Rasmussen L K, Oppermann I J. Ping-pong effects in linear parallel interference cancellation for CDMA[J]. IEEE TWC, 2003, 2(2): 357 - 363.
- [4] Robert Hsieh, Aruna Seneviratne. A comparison of mechanisms for improving mobile IP handoff latency for end-to-end TCP[J]. Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, 2003: 29 - 41.
- [5] Hsieh, R, Seneviratne. Performance analysis on hierarchical mobile IPv6 with fast handoff over end-to-end TCP[J]. Conference Record IEEE Global Telecommunications Conference, 2002, (3): 2488 - 2492.
- [6] D Johnson, C Perkin. Mobility Support in IPv6[S]. RFC 3775, 2004.
- [7] H Soliman, C Castelluccia, et al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) [S]. RFC 4140. 2005.
- [8] R Koodli. Fast Handovers for Mobile IPv6 [S]. RFC 4068, 2005.
- [9] H Y Jung, H Soliman, S J Koh, N Takamiya. Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6) [S]. Internet Draft, draft-ung-mipshop-thmipv6-00.txt, 2005.

- [10] S Deering, R Hinden. Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification [DB/OL]. ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2460.txt/199812.
- [11] J Lau, M Townsley, I Goyret. Layer Two Tunneling Protocol Version 3 (L2TPv3) [DB/OL]. ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc3931.txt/200503.

作者简介:



贾宗璞 男, 1963 年生于河南邓州, 博士, 教授. 主要研究方向: 网络与安全技术, 计算机控制技术.

E-mail: jiazp@hpu.edu.cn.

王红梅 女, 1981 年生于湖南涟源, 硕士. 主要研究方向: 网络与安全技术.

刘淑芬 女, 1950 年生于吉林, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 网络与安全技术, 计算机支持的协同工作.