

一种用于 MIPv6 平滑切换的移动缓存和评价方法^{*})

周琼琼 李智伟 王剑白 孙波

(北京航空航天大学软件开发环境国家重点实验室 北京 100083)

摘要 已经提出的移动 IPv6 平滑切换框架中,普遍使用接入路由器进行移动信令的处理、数据的缓存和转发操作,这种结构很难在实际的网络环境中部署和使用。本文提出了一种用于移动 IPv6 平滑切换的移动缓存;分析了缓存转发过程的时序特征;提出了使用包丢失率和包乱序率对缓存转发过程进行性能评价的一般方法,并给出了计算公式和取值方法;通过模拟实验,对评价方法进行了分析和验证。通过对移动缓存和评价方法的使用,能够有效优化平滑切换结构,并提高缓存转发性能。

关键词 移动 IPv6,平滑切换,缓存转发

A Mobile Cache and the Evaluation Method for MIPv6 Smooth Handovers

ZHOU Qiong-Qiong LI Zhi-Wei WANG Jian-Bai SUN Bo

(National Lab. of Software Development Environment, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083)

Abstract A well-known structure has been used for Mobile IPv6 smooth Handovers in most released frameworks. As the management of mobility signals, the caching and forwarding of pre-path packets are all operated by access routers, the structure is hard to deploy and implement in real networks. In this paper, a mobile cache was proposed for Mobile IPv6 smooth handovers. The time sequence of buffer-forwarding process was analyzed. An evaluation method was formulated with the packet loss rate and the packet out-of-order rate. In simulation, the evaluation method was analyzed and validated. The mobile cache can optimize the structure of smooth handovers, and the evaluation method can enhance the performance of buffer-forwarding processes.

Keywords Mobile IPv6, Smooth handovers, Buffer forwarding

1 引言

移动通信技术与 IP 技术的发展与融合,构建了可移动接入的互联网环境。该环境对移动性的支持体现在网络的多个层面,互联网工程任务组(IETF: Internet Engineering Task Force)制定的移动 IPv6(MIPv6: Mobile IPv6)协议,为终端提供基于网络层的移动性管理。MIPv6 协议规定移动节点(MN: Mobile Node)在网络切换过程中使用被称为转交地址(CoA: Care of Address)的临时地址进行数据传输,并通过注册过程将 CoA 的改变,通知给家乡代理(HA: Home Agent)或通信节点(CN: Correspondent Node),为终端提供跨子网的移动通信服务^[1]。然而,CoA 的配置和注册过程存在比较长的耗时,会引起切换过程中非连续通信,导致网络的非拥塞丢包^[2],这对某些无可靠性保障的应用(如网络电话、VOD 系统等)来说是不能容忍的。

本文提出了一种能够用于 MIPv6 平滑切换的移动缓存(MC: Mobile Cache)和用于对平滑切换缓存转发过程进行性能评价的一般方法。通过对 MC 和评价方法的使用,能够有效优化平滑切换的体系结构,并提高缓存转发的性能。

本文第 2 节描述了现存的平滑切换框架;第 3 节描述了使用 MC 的平滑切换框架(MC-SMIPv6)和缓存转发过程;第 4 节描述了对缓存转发过程进行性能评价的一般方法,给出了包丢失率和包乱序率的计算公式;第 5 节实验模拟了包丢失数量与缓冲区大小之间,包乱序数量与转发速率之间的关

系,验证了包丢失率和包乱序率的计算公式;最后对本文工作进行了总结,并给出了后续工作中关注的问题。

2 现存框架

已经提出的平滑切换框架有很多,根据切换前后网络种类的异同,将现存的平滑切换框架划分为水平切换和垂直切换两类:

1)水平切换 MN 在相同网络间的切换过程称为水平切换,如在 802.11b 覆盖的热点网络内部进行切换。水平切换通常是无损切换,不会因为网络的自身的服务能力而引起数据损失。除非在特殊的网络环境下,如 MN 在网络覆盖区之间以很高的速率移动或 MN 的密度非常高。在水平切换框架中,MN 通常使用单一链路进行数据包的接收,其平滑切换过程主要解决的是如何将旧链路中的数据包通过新链路完整地传递给 MN,如 RK-MIPv6^[3]、SGM-MIPv6^[4]、Xcast-HMIPv6^[5]、ON-FMIPv6^[6]和 DL-MIPv6^[7]。

2)垂直切换 MN 在不同网络间的切换过程称为垂直切换,如在 802.11 网络与 CDMA 网络之间进行切换。垂直切换通常是有损切换,当 MN 从速率或带宽较高的网络切换到较低的网络时,数据传输需要一段时间来适应较低的速率或带宽,可能会出现数据损失,如 802.11 网络到 CDMA 网络。反过来,当 MN 从速率或带宽较低的网络切换到较高的网络时,可以是无损的。在垂直切换框架中,MN 通常使用多个不同链路进行数据包的接收,其平滑切换过程主要解决的是如

^{*})国家自然科学基金项目:移动 IP 无缝切换技术研究,编号 60473084。周琼琼 硕士生;李智伟 博士生;王剑白 博士生;孙波 硕士生。

何让 MN 在新链路中获得与旧链路相同的传输质量服务^[8,9]。

3 MC-SMIPv6

3.1 框架描述

在描述 MC-SMIPv6 之前,首先对现存的、具有类似结构的平滑切换框架 RK-MIPv6^[3]进行对比分析。如图 1 所示, RK-MIPv6 的切换过程是 MN 控制的、接入路由器(AR: Access Router)辅助的平滑切换过程:当 MN 离开前一子网,“前一 AR”对发往前一子网的数据进行缓存;当 MN 进入当前子网以后,通过“当前 AR”转发缓存的数据。该过程在结构和处理流程上存在两点不足:

1)使用 AR 进行数据缓存,部署和使用困难。

AR 作为网络中的路由设备,具有位置相对固定、处理能力有限、功能扩展能力比较弱的特点。把 AR 用作数据缓存设备,增加了 AR 功能上的复杂性,不易于系统的维护和管理。同时,AR 位置上的特殊性,容易造成数据处理上的瓶颈。

2)AR 参与信令处理,增加了 AR 操作的复杂性。

AR 对大量移动信令的处理,无疑会增加路由器操作上的复杂性,并进一步增加了处理负载。此外,为了让已经部署在网络中的 AR 具备对移动信令的支持能力,需要进行大量的软硬件系统升级工作。

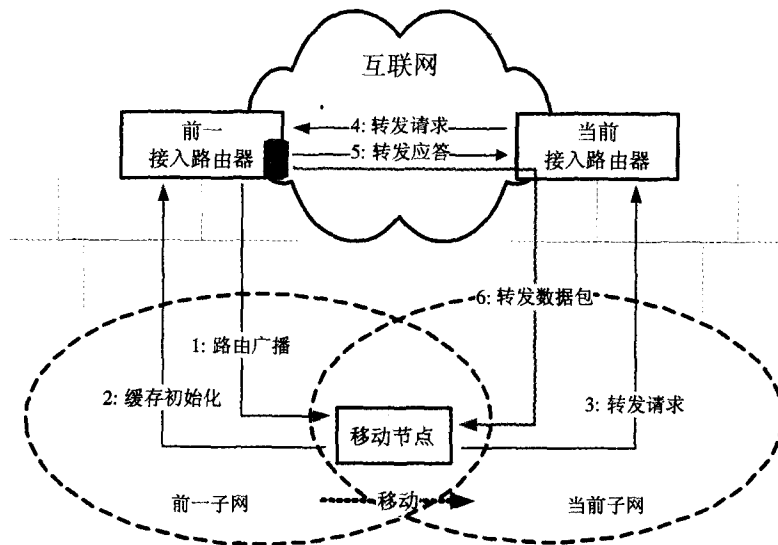


图 1 RK-MIPv6 平滑切换框架

针对上述不足,本文提出了使用移动缓存的平滑切换框架(MC-SMIPv6: Mobile-Cache based Smooth Handover for MIPv6),其切换控制过程如图 2 所示。该框架使用了专门用于数据缓存和移动信令处理的移动缓存,通过将缓存功能、移

动信令的处理功能从 AR 中分离出来的方法,对 RK-MIPv6 进行了优化,仅通过 MN 与 MC 之间的信令交互与数据传递,来完成平滑切换过程。该框架具有如下优点:

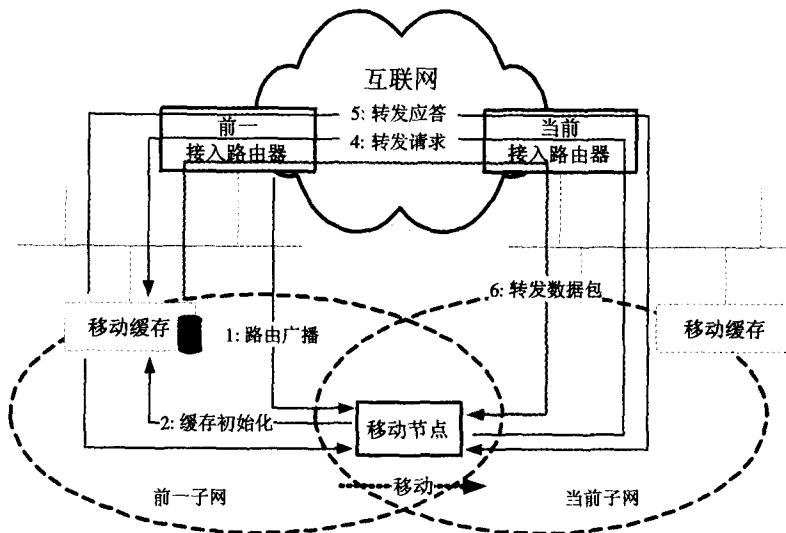


图 2 使用移动缓存的平滑切换过程

1)使用可以与 AR 分离的 MC 进行数据缓存,灵活性较强。缓存转发功能与路由功能相分离,可以独立工作,又可以灵活组合。MC 可以作为主机设备使用,专门用于完成平滑

切换过程中的信令处理和数据缓存,这使得平滑切换的部署和使用较为灵活。MC 没有位置和数量限制,可实现分布式数据处理。

2)移动管理与 AR“无关”。AR 不参与对移动信令的处理,专门用于路由操作,切换过程中的移动管理对于 AR 来说是透明的。因此,也无需升级已经部署在网络中的 AR。

值得一提的是,图 2 所示的平滑切换过程描述是对下行链路(HA/CN 至 MN 方向)数据传输的完整性保证过程。针对双向通信中的上行链路(MN 至 HA/CN 方向)数据传输的完整性保证问题,可以通过“冻结”MN 在切换过程中的数据发送来实现,如 Freezing TCP^[10]等。

3.2 缓存转发过程

MC-SMIPv6 的缓存转发过程是通过 MN 与 MC 之间的

信令与数据传递完成的,由 MN 实现对缓存转发过程的控制,由 MC 实现对数据的缓存和转发。一般性地,平滑切换的缓存转发过程按照工作内容可以划分为 5 个必需阶段:缓存初始化、移动检测、地址配置、缓存转发和绑定更新阶段。通常认为,这 5 个阶段是顺序执行关系,但不是严格的,不同的切换策略,执行的顺序有所不同。以 MC-SMIPv6 为例,缓存转发的时序如图 3 所示(重复的时间标记表示同一时刻,如两个 t22',两个 t23'),其缓存转发各阶段的顺序是:阶段 1、2、3、4(或 5)顺序执行,阶段 4 和 5 可以并行。

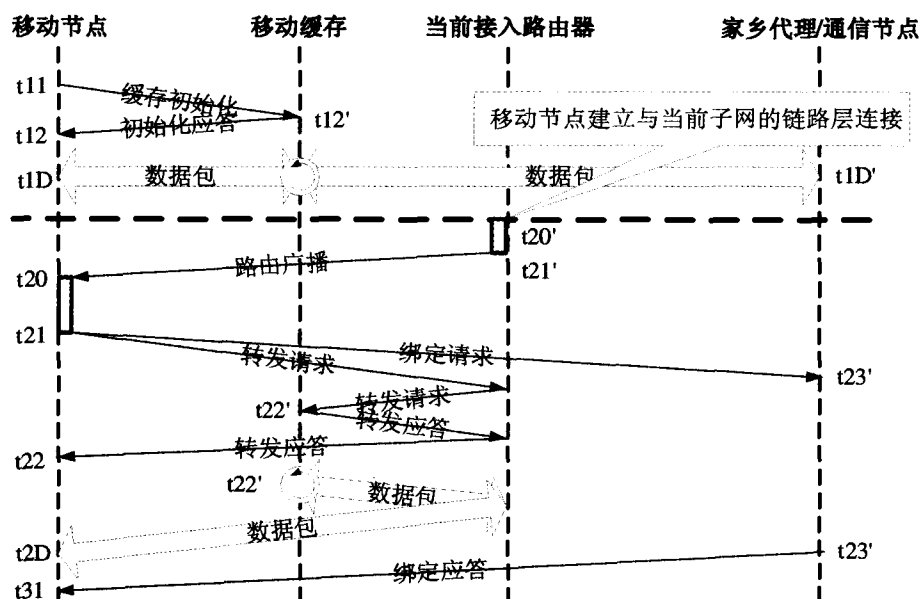


图 3 MC-SMIPv6 的缓存转发时序

• 阶段 1:缓存初始化阶段(S_{BI}), $t_{11} \sim t_{12}$ 。在 MN 离开“前一子网”之前, MN 向 MC 发送“缓存初始化”消息, MC 为 MN 开辟指定大小的缓存并做出应答。操作成功后, MC 开始截获并缓存目标地址为 MN 的数据包。

• 阶段 2:移动检测阶段(S_{MD}), $t_{20}' \sim t_{20}$ 。MN 通过定时发送“路由请求”消息或侦听 AR 的周期“路由广播”消息,来对接入子网的改变进行判断。当 MN 收到新的“路由广播消息”, MN 就认为发生了移动。

• 阶段 3:地址配置阶段(S_{AC}), $t_{20} \sim t_{21}$ 。MN 完成移动检测之后,通过有状态或无状态地址配置方式^[11],完成对新 CoA 的配置。

• 阶段 4:缓存转发阶段(S_{BF}), $t_{21} \sim t_{2D}$ 。MN 使用新 CoA 作为源地址,向“前一子网”的 MC 发送“转发请求”消息。“前一子网”的 MC 对请求做出应答,并通过到新 COA 的隧道,转发缓存的数据包。

• 阶段 5:绑定更新阶段(S_{BU}), $t_{21} \sim t_{31}$ 。MN 使用新 CoA 作为源地址,向 HA/CN 发送“绑定更新(BU: Binding update)”消息,用以通知 HA/CN 其 COA 的变化, HA/CN 对 BU 消息做出“绑定应答(BA: Binding Acknowledge)”。

4 评价方法

通过对平滑切换缓存转发过程的阶段描述和分析,可以看出 S_{BI} 和 S_{BF} 阶段与缓存转发有关,其它 3 个阶段与地址管理有关。 S_{BI} 阶段完成对 AR 或 MC 中数据缓冲区的初始化操作,缓冲区的大小决定了缓存转发过程的缓存能力,影响着

切换过程中的包丢失数量。 S_{BF} 阶段完成对缓存数据的转发操作,转发速率的大小决定了 MN 接收过程中的包乱序数量。所谓包乱序指的是当转发操作与绑定操作并行执行的时候,如果 S_{BI} 阶段先于 S_{BF} 阶段结束($t_{31} < t_{2D}$), MN 通过新路径接收的数据包(HA/CN 使用 MN 的新 CoA 作为目标地址发送的数据包)先于经由 AR 或 MC 缓存转发的数据包的情况。下面给出缓存过程的包丢失率和转发过程的包乱序率的定义:

• 包丢失率:在缓存转发过程中,由于缓冲区的大小与需要缓存的数据量不匹配而丢失的数据包数量与需要缓存的数据包数量之间的比值。在 AR 或 MC 对数据包进行缓存的时候,在充分利用缓存资源的同时,应尽可能降低包丢失率,以提高平滑切换的效果。

• 包乱序率:在缓存转发过程中,由于绑定更新阶段先于缓存转发阶段结束而引起的乱序数据包数量与需要转发的数据包数量之间的比值。在 AR 或 MC 对缓存数据进行转发的时候,在保证有效传输的同时,应尽可能降低包乱序率,以减少 MN 进行乱序数据包整理的额外开销。

综上所述,包丢失率衡量了缓存转发过程中缓存操作的性能,包乱序率衡量了缓存转发过程中转发操作的性能。因此,可以使用包丢失率和包乱序率这两个指标对缓存转发过程的性能进行评价。下面以 MC-SMIPv6 为例,对影响包丢失率的缓冲区大小和影响包乱序率的转发速率进行定量分析,并给出计算公式和取值方法。

注:下述关于时间的定量计算,为了论述的简化,未记入

主机或路由器对信令消息的处理时间。

4.1 包丢失率

MC的缓冲区大小采用动态设定的方式,其值通过MN发送“缓存初始化”消息进行设置。从图3的缓存转发时序上看,需要MC缓存的数据包是从MN离开前一子网(t_{20}')到MC收到“转发请求”消息(t_{22}')时间内的数据包,称这段时间为MC的最小缓存操作时间($Min. T_B$)。因为需要MC开辟的最小平均缓冲区($Min. \bar{S}_B$)是由HA/CN与MN之间的下行平均接收速率($\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$)和 $Min. T_B$ 决定的,所以有如下量化关系:

$$\begin{aligned} Min. \bar{S}_B &= \bar{R}_{HA/CN \sim MN} * Min. T_B \\ &= \bar{R}_{HA/CN \sim MN} * (T_{MD} + T_{AC} + TT_{BF}) \\ &= \bar{R}_{HA/CN \sim MN} * [T_{MD} + T_{AC} + 1/2 * \\ &\quad (RTT_{MN \sim Current \sim AR} + RTT_{Current \sim AR \sim Pre \sim AR} + \\ &\quad RTT_{Pre \sim AR \sim Pre \sim MC})] \end{aligned} \quad (1)$$

注: T_{MD} 为 S_{MD} 阶段的执行时间; T_{AC} 为 S_{AC} 阶段的执行时间; TT_{BF} 为“转发请求”消息的传递时间; $RTT_{MN \sim Current \sim AR}$ 为MN与“当前AR”之间的消息往返时间(RTT : Round Trip Time); $RTT_{Current \sim AR \sim Pre \sim AR}$ 为“当前AR”与“前一AR”之间的 RTT ; $RTT_{Pre \sim AR \sim Pre \sim MC}$ 为“前一AR”与“前一MC”之间的 RTT 。

“最小平均缓冲区”反映的是包丢失率为零的时候,平均缓冲区的最小值。在平均缓冲区大小(\bar{S}_B)已知的情况下,包丢失率(PLR)可以通过 \bar{S}_B 与 $Min. \bar{S}_B$ 的近似计算得到,量化关系如下:

$$PLR = \begin{cases} 1 - \frac{\bar{S}_B}{Min. \bar{S}_B} & (RPL > 0) \\ 0 & (RPL \leq 0) \end{cases} \quad (2)$$

4.2 包乱序率

MC对缓存数据包的转发速率采用动态设定的方式,其值通过MN发送“转发请求”消息进行设置。从图3的缓存转发时序上看,为了避免MN出现乱序接收的问题,最好的情况是 $t_{2D} \leq t_{31}$,这就限定了MC用于数据转发的最长时间,称这段时间为MC的最长转发时间($max. T_F$),从时序上

看是从MC收到“转发请求”消息(t_{22}')到MN收到“绑定应答”消息(t_{31})的时间。此外,需要MC转发的数据包是从MN离开前一子网(t_{20}')到HA/CN收到“绑定更新”消息(t_{23}')时间内的数据包。值得注意的是,需要MC转发的数据包与需要MC缓存的数据包是不同的,需要MC转发的数据包数量大于或等于需要MC缓存的数据包数量。因为MC的最小平均转发速率($Min. \bar{R}_F$)是由需要MC转发的数据包数量(\bar{S}_F)与MC的最长转发时间($Max. T_F$)决定的,所以有如下量化关系:

$$\begin{aligned} Min. \bar{R}_F &= \frac{\bar{S}_F}{Max. T_F} \\ &= \frac{\bar{R}_{HA/CN \sim MN} * (T_{MD} + T_{AC} + TT_{BU})}{TT_{BU} + TT_{BA} - 1/2 * TT_{BF}} \\ &= \frac{\bar{R}_{HA/CN \sim MN}}{RTT_{MN \sim Current \sim AR \sim HA/CN} - 1/2 * \\ &\quad (T_{MD} + T_{AC} + 1/2 * RTT_{MN \sim Current \sim AR \sim HA/CN})} \\ &\quad (RTT_{MN \sim Current \sim AR} + RTT_{Current \sim AR \sim Pre \sim AR} + RTT_{Pre \sim AR \sim Pre \sim MC}) \end{aligned} \quad (3)$$

注: TT_{BU} 为BU消息的传递时间; TT_{BA} 为BA消息的传递时间; $RTT_{MN \sim Current \sim AR \sim HA/CN}$ 为MN与HA/CN(经由“当前AR”)之间的 RTT 。

“最小平均转发速率”反映的是包乱序率为零的时候,平均转发速率的最小值。在平均转发速率(\bar{R}_F)已知的情况下,包乱序率(POR)可以通过 \bar{R}_F 与 $Min. \bar{R}_F$ 的近似计算得到。

$$POR = \begin{cases} 1 - \frac{\bar{R}_F}{Min. \bar{R}_F} & (RPO > 0) \\ 0 & (RPO \leq 0) \end{cases} \quad (4)$$

4.3 参数获取

如前所述,对“最小平均缓冲区”和“最小平均转发速率”的计算,需要获得相关的时间参数,如 T_{MD} 、 T_{AC} 、 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 等。在网络环境已知的情况下,参数的值可以通过设定和测量得到。在网络环境未知的情况下,参数的值和测量变得困难,参数的值需要在计算之前获得,这依赖于每次切换的策略和对网络测量技术的使用。表1列举了在网络环境未知的情况下,参数取值的建议方法。

表1 参数取值的建议方法

参数	条件/取值	
	链路层触发	网络层触发
T_{MD}	“路由请求”消息的往返时间	“路由广播”周期的均值时间
T_{AC}	有状态地址配置	无状态地址配置
	“地址请求”消息的往返时间	“地址冲突检测”的均值时间[12]
$\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$	MN端接收速度的测量均值	
	预测切换	非预测切换
$RTT_{MN \sim Current \sim AR}$	使用MC进行近似测量	历史测量值近似
$RTT_{Current \sim AR \sim Pre \sim AR}$	使用MN或MC进行提前测量	历史测量值近似
$RTT_{Pre \sim AR \sim Pre \sim MC}$	使用MC进行提前测量	使用MC进行提前测量
$RTT_{MN \sim Current \sim AR \sim HA/CN}$	使用MC进行近似测量	历史测量值近似

5 模拟实验

在网络环境已知的情况下,通过对包丢失率和包乱序率的计算,能够对特定系统的缓存转发性能做出直观的评价。本文通过模拟实验的方法,对包丢失率与包乱序率进行了测量,并与公式(2)和(4)的计算结果进行了对比分析,验证了公式的正确性。模拟使用了UC Berkeley开发的NS2,并加载

了Motorola公司开发的移动IP支持模块Mobiwan,实验环境的网络拓扑如图4所示。其中,有线连接是10Mbps;MN使用802.11b与R-01和R-02进行无线连接;R-01采用循环队列表缓冲区。

实验过程中,假定 $T_{MD} = 500ms$, $T_{AC} = 1500ms$, $t_0 = 2000ms$, $t_1 = 750ms$, $t_2 = 500ms$, $t_3 = 300ms$, $t_4 = 150ms$, $t_5 = 200ms$, 512bits/packet, 并分别选取 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN} = 1k \text{ packets/}$

sec 和 1.5k packets/sec 两个速率条件,对包丢失率与包乱序率进行了实验测量,实验及对比结果如图 5~8 所示。

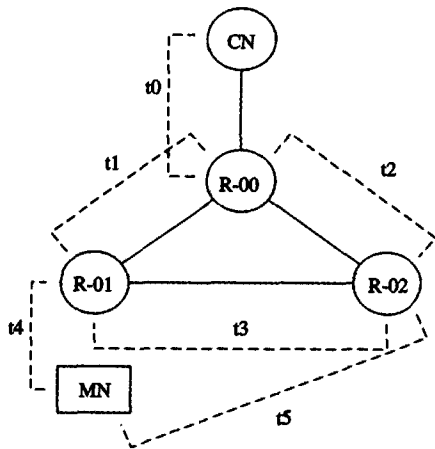


图 4 实验环境网络拓扑

1. 包丢失率 图 5 和图 6 描述了包丢失率与 MC 的平均缓冲区大小(\bar{S}_B)、HA/CN 与 MN 之间的下行平均接收速率($\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$)之间的关系。

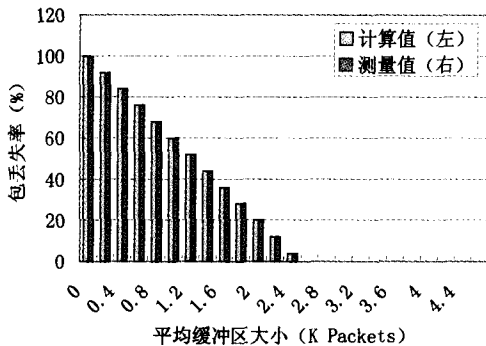


图 5 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN} = 1k$ packets/sec

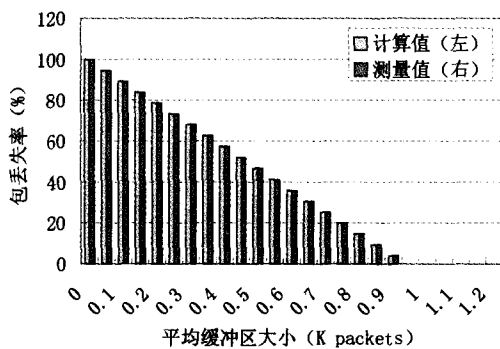


图 6 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN} = 1.5k$ packets/sec

实验结果表明:缓存过程中的包丢失率与 \bar{S}_B 和 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 有关,当 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 一定时, \bar{S}_B 越大,包丢失率越低;当 \bar{S}_B 一定时, $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 越大,包丢失率越高。此外,包丢失率的计算值与测量值能够很好地吻合,证明了公式(2)计算的准确性,存在的误差与模拟环境对信令消息的处理时间、实验输入参数的舍入误差等因素有关。

2. 包乱序率 图 7 和图 8 描述了包乱序率与 MC 的平均转发速率(\bar{R}_F)、HA/CN 与 MN 之间的下行平均接收速率($\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$)之间的关系。

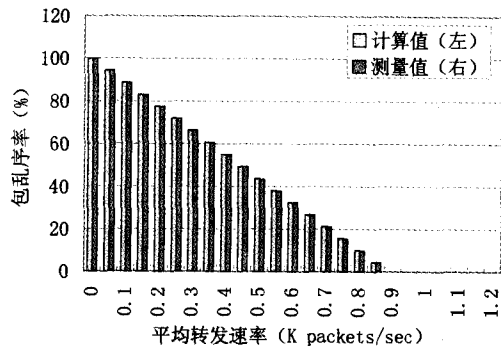


图 7 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN} = 1.5k$ packets/sec

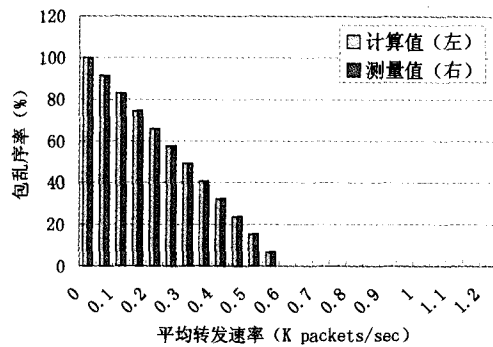


图 8 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN} = 1k$ packets/sec

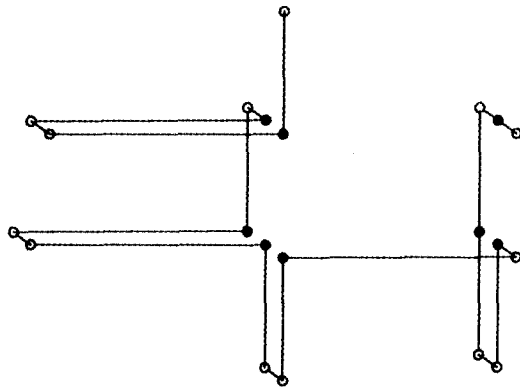
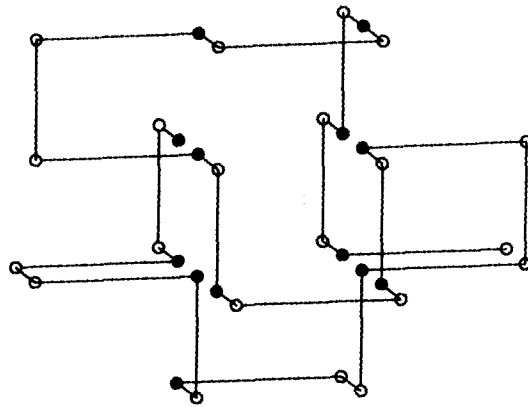
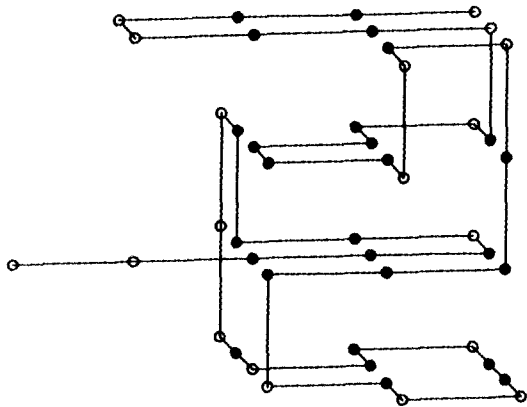
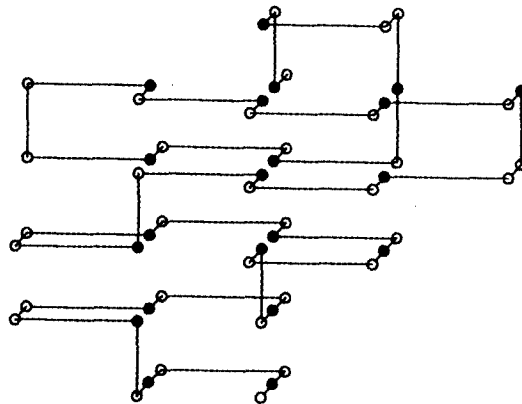
实验结果表明:缓存过程中的包乱序率与 \bar{R}_F 和 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 有关,当 $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 一定时, \bar{R}_F 越大,包乱序率越低;当 \bar{R}_F 一定时, $\bar{R}_{HA/CN \sim MN}$ 越大,包乱序率越高。此外,包乱序率的计算值与测量值能够很好地吻合,证明了公式(4)计算的准确性,存在的误差与模拟环境对信令消息的处理时间、实验输入参数的舍入误差等因素有关。

总结 本文对现存的移动 IPv6 平滑切换框架进行了描述和分析,指出了存在的不足;提出了一种用于移动 IPv6 平滑切换的移动缓存,并描述了使用 MC 的平滑切换过程。以 MC-SMPv6 为例,对缓存转发过程的各个阶段进行了划分;提出了使用包丢失率和包乱序率对缓存转发过程进行性能评价的一般方法;并给出了“最小平均缓冲区”、“最小平均转发速率”、“包丢失率”、“包乱序率”的计算公式和参数获取方法。最后,通过模拟实验,对包丢失数量与缓冲区大小之间、包乱序数量与转发速率之间的关系进行了验证和分析。

正在进行并持续的工作,主要是围绕着对移动缓存系统的代码实现和对评价方法的实际使用展开的,系统的开发与评测报告将在后续的工作中给出。

参考文献

- 1 Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6. Internet RFC 3775, June 2004
- 2 Pramil A D, Antoine S, Aghvami A H. TCP performance enhancement over mobile IPv6; innovative fragmentation avoidance and adaptive routing techniques. IEE Proceedings on Communications, 2004, 151(4):337~346
- 3 Koodli R, Perkins C E. A Framework for Smooth Handovers with Mobile IPv6. Internet draft, draft-ietf-koodli-smoothv6-06.txt, Feb 2005
- 4 Lee Jiwoong. SGM support in Mobile IP. Internet Draft, draft-lee-sgm-support-mobileip-00.txt, October 2000

图1 算例 $n=21$ 的最低能量构形, $E=-10$ 图2 算例 $n=34$ 的最低能量构形, $E=-19$ 图3 算例 $n=46$ 的最低能量构形, $E=-34$ 图4 算例 $n=55$ 的最低能量构形, $E=-31$

结束语 受物理世界中物体间相互作用的规律的启发, 本文对 HP 模型的蛋白质折叠问题提出了一个新的数学模型, 并给出了一个启发式算法。实算结果表明该算法效率较高。沿着启发式的思路, 今后我们将进一步提高算法效率, 并把它应用到其它模型的蛋白质折叠问题之中。

参考文献

- Huang Wenqi, Lu Zhipeng. Personification algorithm for protein folding problem; Improvements in PERM. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(19): 2092~2096
- Anfinsen C B. Principles that govern the folding of protein chains. Science, 1973, 181: 233~240
- Dill K A. Theory for the folding and stability of globular proteins. Biochemistry, 1985, 24: 1501~1509
- Dill K A, Bromberg S, Yue K, et al. Principles of Protein Folding: A Perspective from Simple Exact Models. Protein Sci., 1995, 4: 561~602
- Dill K A, Fiebig K M, Chan H S. Cooperativity in Protein Folding Kinetics. In: Proc. Natl Acad Sci USA. 1993, 90: 1942~1946
- Crescenzi P, et al. On the complexity of protein folding. Journal of Computational Biology, 1998, 5(3): 409~422
- 黄文奇, 许如初. 支持求解圆形 packing 问题的两个拟人策略. 中国科学(E辑), 1999, 29(4): 347~353
- Michael B, Handan A, Wolfhard J. Multicanonical study of course-grained off-latticed models for folding heteropolymers. Physical Review E 71, 2005, 031906
- 黄文奇, 黄勤波, 石赫. 求解蛋白质结构预测问题的二维连续模型及其相应的拟物算法. 计算机研究与发展, 2004, 41(11): 959~965
- Lucio T, Salvatore T. Contact interactions method; A new algorithm for protein folding simulations. Protein Science, 1996, 5: 147~153
- Yue K, Fiebig K M, Thomas P D, Chan H S, Shakhnovich E I, Dill K A. A test of lattice protein folding algorithms. Proc Natl Acad Sci. 1995, 92: 325~329
- McNair J, Zhu Fang. Vertical handoffs in fourth-generation multinet network environments. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(3): 8~15
- Goff T, Moronski J, Phatak D S, et al. Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments. IEEE INFOCOM'00, Tel-Aviv, Israel: IEEE Computer and Communications Societies, March 2000
- Thomson S, Narten T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. Internet RFC 2462, December 1998
- Nakajima N, Dutta A, Das S, Henning Schulzrinne. Handoff Delay Analysis and Measurement for SIP based mobility in IPv6. IEEE International Conference on Communications (ICC 2003), 2003, 2: 1085~1089

(上接第 44 页)

- Li Lei, Abe S. A Micro-mobility Scheme based on Explicit Multicast. WM12-3. In: Asia-Pacific Conference on communication and International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communication (APCC2004/MDMC2004), August 2004
- 卢汉成, 李津生, 洪佩琳. 基于重叠网络的移动 IPv6 快速切换. 电路与系统学报, 2004, 9(5)
- Min T. A seamless handoff approach of Mobile IP based on dual link. In: First International Conference on Wireless Internet (WICON 2005), July 2005
- Makela J, Ylianttila M, Pahlavan K. Handoff decision in multi-service networks. In: 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2000), 2000, 1: 655~659