

## LISP-MNet: 一种支持移动的身份/位置分离方案\*

周粤娴, 王宝生, 邓文平, 唐竹, 高先明

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

通讯作者: 周粤娴, E-mail: zhokemmy@126.com



**摘要:** LISP 是具有代表性的身份/位置分离方案之一, 为了支持移动性, IETF IESG 工作组在其原有基础上提出了 LISP-MN, 但这种方案需要修改主机协议栈, 无法支持现有移动终端的接入, 短期内难以大规模推广应用. 设计一种支持主机移动性的身份/位置分离架构 LISP-Mnet; 在标准的 LISP 基础上, 通过引入映射分发机制, 实现了标地映射的快速分发与同步; 通过在边缘接入设备实现主动注册机制, 无需对终端协议栈作任何修改, 即可支持移动终端在各站点之间的随遇接入和任意切换, 提高了终端的移动接入能力. 最后, 实现了 LISP-MNet 的原型系统和实际组网测试, 对单节点映射服务器进行了压力测试, 测试结果表明其映射规模可达 100M; 通过 VLC 视频应用进行移动终端接入站点切换时延测试, 结果表明, 移动切换时间低于 2s, 移动终端在切换接入站点后, VLC 视频服务器与客户端可在 2s 内完成视频同步.

**关键词:** 身份/位置分离; LISP; 移动性; 移动切换; 随意接入

中文引用格式: 周粤娴, 王宝生, 邓文平, 唐竹, 高先明. LISP-MNet: 一种支持移动的身份/位置分离方案. 软件学报, 2016, 27(Suppl. (2)): 283-290. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16042.htm>

英文引用格式: Zhou YX, Wang BS, Deng WP, Tang Z, Gao XM. LISP-Mnet: A mobility support identity/locator separation scheme. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2016, 27(Suppl. (2)): 283-290 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16042.htm>

## LISP-MNet: A Mobility Support Identity/Locator Separation Scheme

ZHOU Yue-Xian, WANG Bao-Sheng, DENG Wen-Ping, TANG Zhu, GAO Xian-Ming

(College of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** LISP is one of representative identity/locator separation proposals. IETF Internet Engineering Steering Group (IESG) proposes LISP-MN (LISP Mobile Node) to support mobility base on LISP. However, this scheme needs to modify protocol stack of joined hosts, which restricts access of existing mobile terminals. So, it's hard to achieve large-scale popularization and application. This paper designs a mobility support Identity/Locator separation scheme named LISP-MNet, based on standard LISP. It achieves fast mapping entries delivery and synchronization through mapping delivery mechanism. In addition, it allows terminals to access to sites arbitrarily and switchover among different sites through active registration mechanism deployed in edge access devices without modifying protocol stack of terminals. These two mechanisms do improve mobile access ability of terminals. At last, LISP-MNet prototype is established and evaluated in areal network environment. A pressure experiment is firstly conducted on a single mapping server, of which results prove that its scale can be up to 100M. And then mobile switching delay is measured by using VLC video applications. The experimental results show that mobile switching delay is less than 2s and VLC server and client can complete synchronization in 2s after mobile terminal accesses to mobile site.

**Key words:** identity/locator separation; LISP; mobility; mobile handover; arbitrary access

\* 基金项目: 国家自然科学基金(61202486, 61472438)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61202486, 61472438)

收稿时间: 2016-06-05; 采用时间: 2016-10-18

## 1 引言

移动性是互联网发展的必然趋势,也是未来互联网所必需具备的特性<sup>[1]</sup>.随着智能手机、笔记本电脑等便携式移动终端的普及,用户日益增长的移动性需求对互联网的移动性支持提出了巨大的挑战<sup>[2,3]</sup>.传统互联网的架构和协议栈是针对固定终端设计的,对移动性支持不佳.例如,当用户从工作地点回到家里时,移动终端中正在下载的文件无法自动断点续传等.其根本原因是 IP 地址的语义重载,即 IP 地址同时表示终端的身份标识和当前位置.为此,研究人员提出身份/位置分离的方案<sup>[1,3,4]</sup>:终端使用身份标识建立通信连接,身份标识仅在用户空间中进行寻址;在路由空间中仅使用网络地址进行寻址.身份标识和网络地址相互独立.当终端移动时,只有接入位置的网络地址发生改变,其身份标识保持不变.

目前具有代表性的身份/位置分离方案是位置/身份分离协议(locator/identity separation protocol,简称 LISP<sup>[5]</sup>),LISP 已经成为 IETF 标准并集成到 Cisco 路由器中.但是,LISP 是为解决路由可扩展性问题而提出的,并不支持移动终端的随遇接入和任意切换.为此,研究人员基于 LISP 提出了一种移动性管理方案 LISP-MN<sup>[6]</sup>.LISP-MN 的原理是在移动终端中实现隧道路由器功能,从而支持终端的移动接入.它需要修改移动终端协议栈,对移动终端并非完全透明,短期部署效果不明显,需要长期、大量的部署才能推广应用.

本文提出了一种支持移动性的基于 LISP 的身份/位置分离架构:LISP-MNet.在 LISP 的基础上引入主动注册机制、映射分发机制.前者将移动终端的身份与位置的映射表项向映射系统主动注册,通告移动终端的当前位置;后者则是根据注册信息向接入路由器分发清除“旧”映射表的指令消息,维护路由器中映射表项的一致性.LISP-MNet 通过两者的相互配合来实现对移动终端的任意切换.LISP-MNet 是基于移动终端的数据流来驱动的,并不需要对移动终端作任何的修改,即对终端完全透明.最后,在 X86 服务器平台上搭建了 LISP-MNet 原型系统,并对映射负载规模、移动切换时间等性能指标进行测试.单节点映射服务器压力测试结果表明,其映射规模可达 100M;在 VLC 应用视频传输测试中,移动终端在不同接入站点之间的移动切换时间小于 2s,接入新的接入站点后,VLC 服务器端和客户端可以在 2s 内完成视频同步.

本文第 2 节主要介绍 LISP-MNet 的网络架构和基本通信流程.第 3 节描述移动性支持机制,包括主动注册机制和映射分发机制.第 4 节是 LISP-MNet 在真实网络设备上的通信性能测试.第 5 节对全文进行总结并提出未来工作内容.

## 2 LISP-MNet 架构

尽管业内在标准的 LISP 基础上提出了支持移动性的 LISP-MN 方案,但它需要对现有的终端设备进行协议栈的修改,这使得它无法在短期内得到大规模的推广应用.为此,我们通过扩展 LISP 协议而提出了 LISP-MNet 架构,它无需修改现有的终端设备,支持移动终端的随意接入,具备良好的应用前景.

### 2.1 映射-封装机制

LISP 和 LISP-MN 采用“映射-封装”机制来实现终端的位置与身份分离.移动终端在局部域以身份标识 ID 作为寻址依据.当位于两个不同局部域的终端通信时,数据报文传输需要穿越路由域,路由域则依据位置标识进行报文转发.在报文传输过程中,数据报文首先由局部域传输到路由域,由接入路由器将报文封装,将报文转发至与目的局部域相连的接入路由器;由接入路由器将报了解封装传递到局部域.

在 LISP-MNet 中,仍然采用“映射-封装”机制,这不可避免地降低了路由域中链路有效负载率.结合移动终端接入的特点,LISP-MNet 对报文封装格式进行优化.在接入路由器封装报文时,仅增加一层 IP 报文头.LISP-MNet 中报文封装格式,如图 1 所示.



Fig.1 Encapsulation for mat of packets

图 1 报文封装格式

## 2.2 LISP-MNet架构

LISP-MNet 由接入路由器(access router,简称 AR)和映射系统(mapping system,简称 MS)两部分组成,如图 2 所示.接入路由器位于路由域和局部域两个空间;而映射系统则位于路由域,与接入路由器交互.

LISP-MNet 通过引入主动注册机制和映射分发机制,利用移动终端的数据流来驱动它的映射-封装过程.正是由于上述特征,才使得 LISP-MNet 不需要对移动终端作任何的修改,能支持现有的移动终端任意接入和切换.

MS 位于路由域内,用于维护终端的身份-位置映射信息.与标准 LISP 不同,LISP-MNet 中映射系统并不会预先静态配置终端的身份-位置映射,它是由移动终端的数据报文来动态生成的.在接入路由器接收到来自局部域中数据报文时,检查自身是否存在该终端身份-位置映射表项.一旦 AR 发现不存在时,它会自动生成该终端的身份-位置的映射表项,并触发主动注册机制,将该映射表项通告给 MS.同时,MS 会通过映射分发机制来维护全网终端的映射表项的一致性.除此之外,MS 具备处理接入路由器的映射表项请求的能力,与标准 LISP 协议是相同的.

接入路由器用于连接路由域和局部域两个不同空间,负责数据报文的封装与解封装、与映射系统间交互等.它包括内核空间的数据平面和用户空间的 Agent 两部分<sup>[7,8]</sup>:前者负责数据报文的封装与解封装、向 Agent 通告 DB(或 Cache)不命中事件等;后者则具备处理来自数据平面的事件以及与 MS 间交互的功能,如图 3 所示.数据平面与 Agent 间交互是通过 Msocket 完成的.除此之外,数据平面维护两类映射表:DB 表和 Cache 表.其中,DB 中存储与本 AR 相连的局部域内接入终端的映射表项,在封装时依据数据报文中源 ID 来确定封装报文的源 NA;Cache 表用于缓存 Agent 从 MS 请求非本地局部域的终端映射表项,在封装时依据数据报文中目的 ID 来确定封装报文的源 NA.

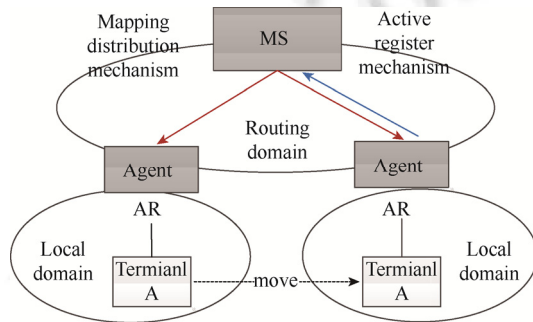


Fig.2 Architecture of LISP-MNet

图 2 LISP-MNet 架构

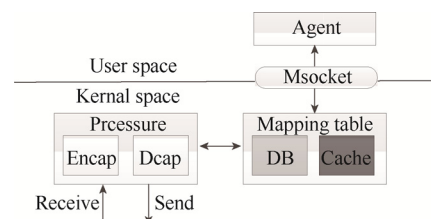


Fig.3 Architecture of AR

图 3 AR 架构

由于移动终端接入的移动站点存在随意性、不可预测性特征,在接入路由器中预先静态配置移动终端的身份-位置映射表项是不可行的.因此,AR 是基于移动终端数据流驱动的.当 AR 数据平面接收到来自局部域的报文时,它首先查询自身存储的 DB 表来匹配该移动终端的身份-位置映射表项.由于 AR 并不会预先静态配置映射表项,AR 查找 DB 表失败.它会把 DB 不命中消息通过 Msocket 通告给 Agent.Agent 会自动为该移动终端创建身份-位置的映射表项,下发至数据平面的 DB 表中.同时,它会向 MS 发起注册请求消息,将该移动终端最新的映射表项通告给 MS.在 Agent 完成映射表项在 DB 表中安装后,数据报文则查找 DB 表成功.然后,AR 再查询 Cache 表项,在不命中时,同样会向 Agent 通告 Cache 不命中消息,由后者向 MS 请求最新的的目的端的映射表项,这一点与标准 LISP 协议是相同的.只有在数据报文匹配 DB 表和 Cache 表都成功时,AR 才会对报文进行封装,并将报文转发至路由域.

## 3 移动性支持机制

LISP-MNet 对移动性的支持,关键在于通过 MS 获得移动终端最新的位置信息.MS 中存储了移动终端最新

的身份-位置映射信息.LISP-MNet 利用主动注册机制和映射分发机制实现对移动性的支持:前者用于更新 MS 中移动终端的身份-位置映射表项,确保 MS 拥有最新的位置信息;后者用于维护网络中移动终端位置信息的一致性,确保端到端通信的正常进行.

### 3.1 主动注册机制

主动注册机制是为了保证 MS 中拥有移动终端最新的身份-标识映射信息.当位于不同局部域的终端与移动终端通信时,需要通过查询映射系统获取移动终端的最新位置信息.当移动终端接入到某个站点时,它发送的数据流首包会触发 AR 主动向 MS 发送注册移动终端最新位置信息的请求,由 MS 更新移动终端的身份-位置映射表项.

LISP-MNet 中,主动注册机制的参与者是 AR 和 MS,由 AR 触发,如图 4 所示.它的详细流程描述如下:

- (1) AR 接收到局部域数据报文,依据 IP 头的源 ID 字段查找 DB 表;如果匹配不成功,则跳转至第 2 步;
- (2) 此时表明该移动终端首次接入到该局部域,AR 会自动生成该移动终端的身份-标识映射(ID,NA).同时,AR 会将移动终端的(ID,NA)映射信息向 MS 发起注册消息;
- (3) MS 接收到 AR 的注册消息时,检查本地是否存储该移动终端的映射信息;如果存在,则更新本地的映射信息;如果不存在,则在本地添加该移动终端的映射信息;
- (4) 若 AR 在一段时间内没有接收到 MS 的移动终端确认消息,则跳转至第 2 步,继续向 MS 注册;否则,AR 则将该移动终端的映射信息安装在本地的 DB 表中.

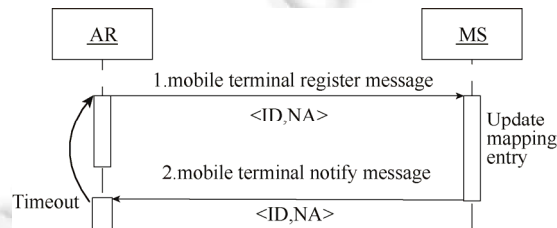


Fig.4 Active regis terme chanism

图 4 主动注册机制

### 3.2 映射分发机制

AR 在向 MS 查询某 ID 的映射对时,MS 返回对应表项之后,会将发出查询请求的 AR 的 NA 追加到所查询的 ID 的通信链表中,并将计数器  $n$  加 1.这个链表是与该 ID 通信过或者正在通信的 AR 的 NA 集合,如图 5 所示.

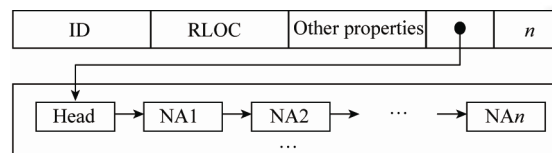


Fig.5 Mapping entry in MS and its communication chaintable

图 5 MS 中映射表项及其通信链表

映射分发机制用于维护网络中移动终端位置信息的一致性.移动终端接入新的局部域和离开局部域,都是终端位置的变更.但是,这会引起 MS、AR 中存储的移动终端位置信息的不一致,需要利用映射分发机制来保持一致性.映射分发机制分为两个部分,分别处理移动终端接入新的局部域和离开局部域的情况,如图 6、图 7 所示.

移动终端接入新的局部域,移动终端的 ID 和新接入的 AR 构成了新的映射关系,但是移动终端接入的前一个 AR 的 DB 中可能仍存在过期的映射表项、与该移动终端正在通信或者刚结束通信的终端的 cache 中也会缓存“旧”的映射表项,必须予以更新,以维护映射一致性.映射分发机制中 MS 和 AR 之间的交互流程如下:

- (1) 移动终端新接入的 AR 通过主动注册机制向 MS 通告新的映射对,如果 MS 映射数据库中已经有该 ID

的映射表项,即“旧”映射表项,则跳转到第(2)步;否则,直接把新的映射对添加到 MS 的映射数据库中;

(2) MS 向移动终端接入的上一个 AR(网络地址为“旧”映射表项的 NA)发送接入更新消息(“删除 DB”的比特位置为 1),删除该 AR 的 DB 中关于 ID 的映射表项;

(3) MS 向该 ID 的通信链表中所有 AR 发送接入更新消息(“删除 DB”的比特位置为 0),其中携带了新注册的映射对(ID,NA);

(4) 通信链表中的 AR 接收到接入更新消息,查找 cache 表中是否有存储该 ID 的映射表项,如果没有,那么就丢弃该消息.如果有,比较 cache 中的映射表项以及新接收到映射对的版本号,更新映射表项.

至此,移动终端接入的上一个 AR 的 DB 中过期映射表项已经被删除,缓存了“旧”映射表项的 AR 的 cache 中的映射表项也已经被更新,缓存了 ID 的最新位置 NA,与 MS 中的移动终端最新位置保持一致性.

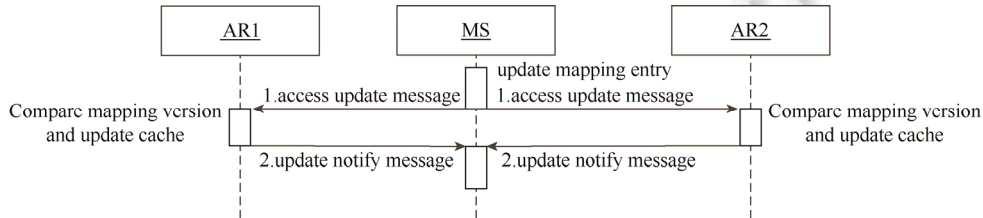


Fig.6 Mapping distribution mechanism (mobile terminal accesses into a new local domain)

图 6 映射分发机制(移动终端接入新的局部域)

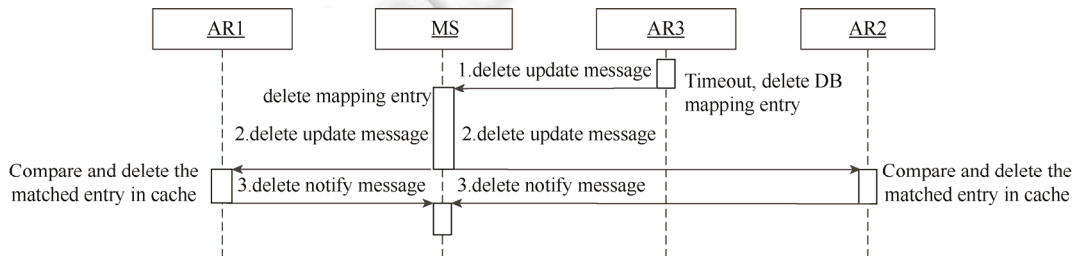


Fig.7 Mapping distribution mechanism (mobile terminal leaves the local domain)

图 7 映射分发机制(移动终端离开局部域)

当 AR 在一定时间内没有接收到源 ID 为 ID 的数据报文时,DB 中关于 ID 映射表项的定时器超时,说明移动终端已经离开局部域 C.移动终端离开局部域 C 时,由 ID 与 AR 的 NA 所构成的映射关系已经不存在,即该映射表项已失效.而此时该映射表项还储存在 MS 的映射数据库、局部域 C 的 AR 的 DB、某些 AR 的 cache 中,所以必须删除.此过程中 MS 和 AR 的交互过程如下:

(1) AR 删除 DB 中的映射表项后,向 MS 发送终端删除请求消息;

(2) MS 查找并删除映射数据库中匹配的映射表项,并向该 ID 的通信链表中所有 AR 发送删除更新消息;

(3) 通信链表中的 AR 接收到删除更新消息,查找 cache 中是否缓存了与删除更新消息中需要删除的映射对匹配的映射表项,如果没有,那么就丢弃该消息.如果有,则删除与删除更新消息匹配的映射表项.

至此,失效映射表项已经被全部删除.在移动终端接入新的 AR 之前,MS 中不存在关于 ID 的映射表项.映射分发机制使得其他 AR 的缓存中也不存在关于 ID 的映射表项,保持了 MS 和 AR 中映射表项的一致性.

## 4 LISP-MNet 的实验与测试

### 4.1 实验环境

LISP-Mnet 的实验场景如图 8 所示.移动终端通过连接 AR 上的无线网卡所提供的 WiFi 热点接入 AR 所



管理的局部域.其中,AR1,AR2,AR3 均为 IBM X3550 服务器,配置 BCM5709 千兆有线网卡以及 Cisco AE1000 无线网卡,实现局部域接入功能;Router 为 Dell R710 服务器,实现路由域路由功能;MS 为 IBM X3650 服务器,提供映射查询功能以及映射更新功能;移动终端 A 和固定主机 B 均为神州笔记本电脑,安装 Ubuntu kylin14.10 操作系统,使用各自的 ID 进行通信(1.1.1.1 和 2.2.2.2).

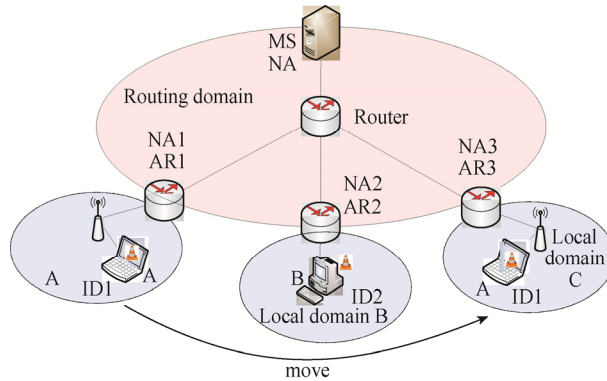


Fig.8 Experiment scene of LISP-MNet

图 8 LISP-MNet 实验场景

### 4.2 有效负载率

映射-封装机制引入的额外报文字段会降低路由网络中链路的有效负载率.为此,LISP-MNet 优化报文封装格式,尽可能地降低封装-映射机制对链路的有效负载率的影响.本实验分别对比 LISP、LISP-MN 以及 LISP-MNet 这 3 种架构下路由网络中链路的有效负载率,测试结果如图 9 所示.

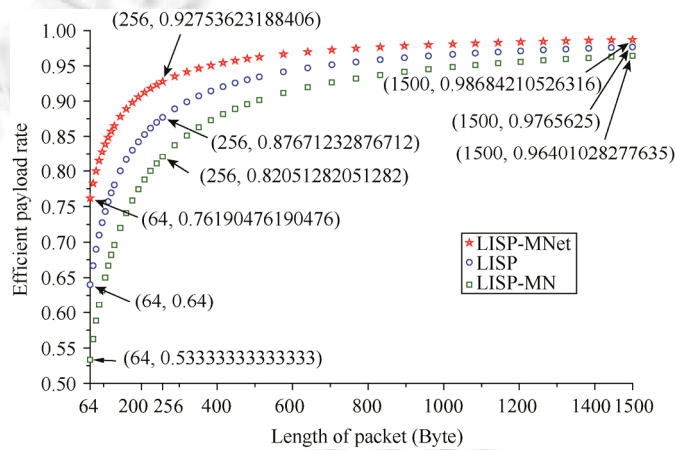


Fig.9 Efficient payload rate curve of LISP, LISP-MN and LISP-MNet

图 9 LISP,LISP-MN,LISP-MNet 有效负载率曲线单点映射服务器压力测试

LISP-MNet 中链路的有效负载率要高于 LISP、LISP-MN,而且随着报文长度的增加,三者的链路有效负载率也相应增加.当移动终端传输报文长度为 64 字节时,LISP-MNet 的链路有效负载率分别是 LISP、LISP-MN 的 1.20 倍和 1.43 倍.

根据相关研究,互联网中传输报文的平均长度为 256 字节.此时,LISP-MNet 的链路有效负载率分别是 LISP、LISP-MN 的 1.06 倍和 1.13 倍.因此,在移动终端传输报文长度越小时,LISP-MNet 的链路有效负载率也越优于其他两种架构.

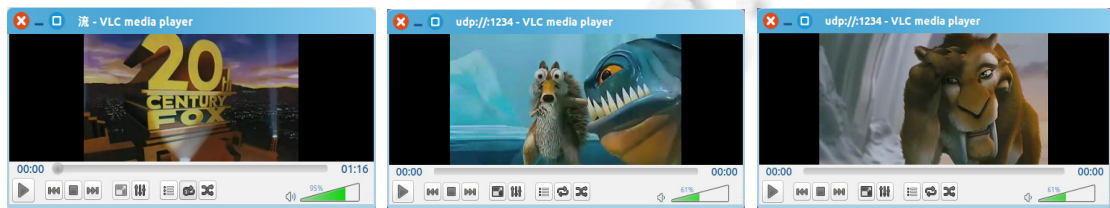
为了评估映射系统的映射表项负载性能,本文对单点映射服务器进行了压力测试.以每秒注册 3 000 条映

射表项的速率向图 8 所示的单点映射服务器发送注册消息.通过打印映射服务器上的 DB 信息确认映射表项已成功追加到映射数据库中.压力测试结果表明,单点映射服务器可负载的映射表项规模可达 100M,此时,LISP-MNet 仍可以正常完成 ID 到 NA 之间的映射和转发功能.

### 4.3 VLC 视频传输实验

移动切换延时是评价移动性支持性能的一个重要指标,为了评估 LISP-MNet 的移动性支持性能,需要测量移动终端 A 不同局部域接入点之间切换所需的延时.

在图 8 所示的测试场景下,固定主机 B 上启动 VLC 视频播放器作为流视频服务器端,向地址为 1.1.1.1,接收端口为 1234 的客户端推送 UDP 视频流.打开移动终端 A 上的 VLC 视频播放器,使用网络 URL(在本场景中为 `udp://@:1234`)就可以接收并播放 VLC 服务器 B 所推送的远程视频流,如图 10(a)、图 10(b)所示.随后,移动终端 A 离开局部域 A.在此期间,移动终端 A 的视频播放中断.接入局部域 C 后,移动终端 A 无需进行任何网络配置,可在 2s 内与 VLC 视频服务器完成视频同步播放,如图 10(c)所示.



(a) VLC 服务器端推送视频流 (b) 移动前客户端正常接收播放视频流 (c) 移动后客户端正常接收播放视频流

Fig.10 Video stream transmission in mobile scene

图 10 移动场景下视频流传输实验

视频发生播放中断到恢复播放的时间段,就是通信中断延时.因为接入 WiFi 热点耗时不可忽略,所以通信中断延时应为移动切换延时与 WiFi 接入延时之和.图 11 所示为每次移动的通信中断延时和移动切换延时,从图 11 可以看出,移动切换所需时长较为稳定,计算得出平均切换延时为 1.87s.

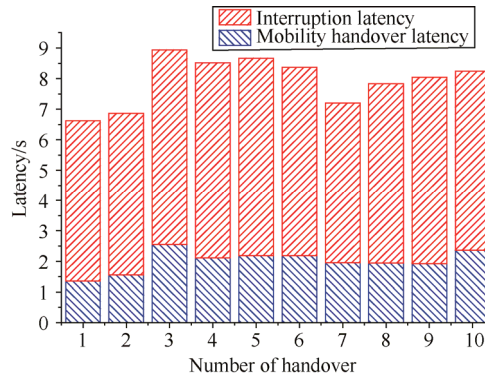


Fig.11 Mobility handover delay

图 11 移动切换延时

## 5 结束语

LISP 是代表性的身份/位置分离方案之一,但是因为其设计初衷并非针对移动性问题,因此 LISP 并不能很好地支持移动性.虽然研究人员提出了基于 LISP 的移动性支持方案 LISP-MN,但因为需要修改终端协议栈,短期内难以大规模推广应用.针对以上问题,本文设计并实现了一种支持移动性的身份/位置分离架构 LISP-MNet;设计了

终端主动注册机制和映射分发机制,无需对终端进行任何修改,即可支持移动终端在各个局部域之间的随遇接入和任意切换.在真实网络设备上进行的测试结果表明,LISP-MNet 的单点映射服务器可负载的映射表项规模可达100M;移动切换延时小于2s,接入站点后,VLC服务器端和客户端可以在2s完成视频同步.同时,有效负载率明显高于LISP以及LISP-MN.但是,在移动切换过程中会出现丢包问题,这是由于目前LISP-MNet所采用的缓存策略(不缓存)所导致的.在未来的工作中,将增加切换过程中数据报缓存机制,使得LISP-MNet支持无缝移动性.

#### References:

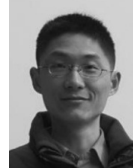
- [1] Ramirez W, Masip-Bruin X, Yannuzzi M, *et al.* A survey and taxonomy of ID/locator split architectures. *Computer Networks*, 2014, 60:13–33.
- [2] Ferretti S, Ghini V, Panzieri F. A survey on handover management in mobility architectures. *Computer Networks*, 2015.
- [3] Lee JH, Bonnin JM, Seite P, *et al.* Distributed IP mobility management from the perspective of the IETF: Motivations, requirements, approaches, comparison, and challenges. *Wireless Communications*, 2013,20(5):159–168.
- [4] Yang Y, Xu MW, Yang JH, Dong QZ, Chen WL, Wang H, Zhang ZC. SAMS: A novel ID-locator separation on scheme. *Chinese Journal of Computers*, 2014,2:394–406 (in Chinese with English abstract).
- [5] Farinacci D, Lewis D, Meyer D, *et al.* The locator/ID separation protocol (LISP). RFC 6830, CA: Internet Engineering Task Force (IETF), 2013.
- [6] Natal AR, *et al.* LISP-MN: Mobile networking through LISP. *Wireless Personal Communication*, 2013,70(1):253–266.
- [7] Iannone L, Saucez D, Bonaventure O. Implementing the locator/id separation protocol: Design and experience. *Computer Networks*, 2011,55(4):948–958.
- [8] Phung D, Secci S, Saucez D, *et al.* The OpenLISP control plane architecture. *Network*, 2014,28(2):34–40.

#### 附中文参考文献:

- [4] 杨芫,徐明伟,杨家海,董庆洲,陈文龙,王会,张志超.SAMS:一种新型身份/位置分离方案.计算机学报,2014,2:394–406.



周粤娴(1991—),女,广东湛江人,硕士,主要研究领域为计算机网络与通信.



唐竹(1987—),男,博士,助理研究员,主要研究领域为计算机网络与通信.



王宝生(1970—),男,博士,研究员,博士生导师,CCF专业会员,主要研究领域为路由器体系结构,路由协议,网络安全.



高先明(1988—),男,硕士,主要研究领域为计算机网络与通信.



邓文平(1981—),男,博士,助理研究员,主要研究领域为计算机网络,路由安全.