

基于代价函数的动态分布式解析映射机制

葛国栋¹, 郭云飞^{1,2}, 兰巨龙¹, 刘彩霞¹

(1. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 解放军理工大学 信息系统学院, 江苏 南京 210007)

摘要: 针对身份与位置的动态解析映射问题, 依据终端的移动模式和通信特征, 提出了一种基于代价函数的动态分布式移动解析映射机制。该机制将移动终端的通信状态划分为移动更新、均衡传输和解析查询 3 种通信模式, 以最小化解析映射代价为目标, 分别提出了基于分布式多播、一致性散列协同和主动式域内共享的解析映射方法, 设计了对应的注册更新、解析查询和数据路由解析优化策略。仿真结果表明, 该机制实现了移动过程中解析映射代价的最小化, 具有较小的解析时延, 对网络结构的动态变化具有良好的适应性。

关键词: 解析系统; 身份与位置分离; 移动性; 分布式

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)10-0145-10

Distributed dynamic mapping scheme based on cost function

GE Guo-dong¹, GUO Yun-fei^{1,2}, LAN Ju-long¹, LIU Cai-xia¹

(1. National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Command Information System, People's Liberation Army University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: For supporting efficient host mobility and mapping identifiers onto locators, a distributed dynamic mobility mapping scheme based on cost function was proposed. In the scheme, depending on the mobility pattern and communication feature, the communication of mobile node is divided into three communication models, namely, moving update model, balanced transmission model and resolving query model. In order to minimize the total resolving cost, three mapping approach are proposed based on distributed multicast, consistent hash functions and proactive sharing respectively in the mobile domain. For each mapping approach, corresponding registration update, resolution query and packet delivery strategies are designed. Simulation results show that the scheme can achieve the minimum resolving cost, and can have low resolve latency and good adaptability for network topology dynamic changing.

Key words: mapping system; identifier/locator separation; mobility; distributed

1 引言

现有互联网体系结构中, IP 地址既作为终端的身份标识, 用于标识节点和会话, 又代表节点的网络位置, 用于路由和转发, 这种语义上的双重性和功能上的耦合性是导致现有 Internet 可扩展性、移动性、多家乡等诸多问题的根本原因之一^[1,2]。身份与位置分离(LISP, locator identifier separation protocol)^[3]的思想将 IP 地址的功能分解为身份标识

(EID, endpoint identifier)和路由地址(RLOC, routing locator)2 个独立的部分, EID 用于在应用层和传输层标识终端, RLOC 用于在网络层对终端进行寻址和路由。当终端由于移动而导致网络位置发生改变时, 身份标识保持不变, 只需更新位置信息, 不会影响正在进行的通信连接。LISP 对于移动性和多家乡可以提供有效的支持, 被业界认为是未来网络体系结构设计的一种核心理念^[4,5]。

基于身份与位置分离的网络结构设计中, 如何

收稿日期: 2013-07-28; 修回日期: 2013-11-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(2012CB315901); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(2011AA01A01)

Foundation Items: The National Basic Research Program of China (973 Program)(2012CB315901); The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program)(2011AA01A01)

构建快速、稳定的解析映射系统来提供身份与位置之间实时的解析映射,是建立网络通信连接和实现路由转发的前提^[6,7]。加之,随着移动终端和数据流量的日益激增,移动速度和切换频率的加快,传统基于“固定、有线”为主的静态通信模式逐渐发生改变,移动性已经成为未来网络结构设计的内在属性和通信要求的固有特征。在移动通信环境下,对动态的移动通信主体按照静态的方式分配网络地址是不合理的,对于移动终端位置的频繁变化,解析机制必须提供快速的位置更新和解析查询。

现有方案依据其解析方式可分为以下 3 类^[1]:

1) 集中式解析映射方案^[8-12],其解析查询和路由的重定向功能主要由集中式的本地移动锚点(LMA, local mobility anchor)、家乡代理(HA, home agent)、隧道路由器(tunnel router)、本地映射服务器(LMS, local map server)、聚集点(RP, rendezvous point)等网络实体来完成; 2) 部分分布式解析映射方案^[13-15],实现了控制平面和数据平面的分离,数据路由由无需经过集中式服务节点的处理,实现了分组的优化传输; 3) 全分布式解析映射方案^[16-19],主要基于分布式散列表、广播、多播等机制来构造覆盖网络,分发绑定关系、计算映射服务节点,实现解析查询。这些方案在一定程度上实现了解析查询功能,但还存在着诸多不足,主要体现在: 1) 集中式的解析查询易形成单点瓶颈,解析服务节点难以维持大量的绑定关系条目,可扩展性差^[16],数据分发存在非优化路由问题,传输效率低下; 2) 基于覆盖网络来分发可达性信息和确定映射服务节点,解析请求需要在覆盖层经过多跳传输,相比直接解析查询,会引入较大的解析时延^[20,21]; 3) 基于广播、多播的解析方案,在高解析请求率下,绑定映射关系会被频繁查询,将产生大量的信令开销^[4, 17]; 4) 解析方案缺乏动态适应性^[4],未能与移动节点(MN, mobile node)具体的移动属性和通信模式相结合,不能提供优化的解析策略。

为此,本文提出了一种基于代价函数的动态分布式解析映射机制(DDM-CF, distributed dynamic mapping scheme based on cost function),对 MN 解析映射过程产生的注册更新、解析查询和分组传输 3 方面的代价开销进行综合考虑和合理均衡。以最小化各通信模式下的解析映射代价为目标,采取对应的注册更新、解析查询优化策略,分别设计了基于分布式多播、一致性散列协同和主动式域内共享的

解析映射方法。该机制实现了移动过程中解析映射代价的最小化,对网络结构大小的变化具有良好的适应性。

2 动态分布式解析映射机制

2.1 解析映射代价函数定义

对于解析映射系统,从绑定更新、解析查询和分组传输 3 方面考虑代价开销。

1) 绑定更新开销代价(C^{BU})。MN 移动过程中,由于位置更新,向解析系统进行绑定映射关系(EID \leftrightarrow RLOC)注册、位置更新发送的信令开销,其大小取决于映射系统的解析更新策略和 MN 移动特性。

单位时间内绑定更新开销代价 C^{BU}

$$C^{BU} = \gamma_{\text{handoff}}^{MR} S^{BU} d \quad (1)$$

其中, S^{BU} 表示 MN 在移动域(MD, mobile domain)内不同解析路由器(MR, mapping router)之间切换时发送的绑定更新消息长度, $\gamma_{\text{handoff}}^{MR}$ 为切换频率, d 为对应的路由传输距离,代价开销单位取 bit-hop。

2) 解析查询开销代价(C^{RQ})。建立通信连接时,向映射系统查找绑定映射关系,解析 RLOC 产生的代价开销,大小取决于具体解析查找策略和解析查询请求到达率 λ_{MQ} 的大小。

单位时间内解析查找开销代价 C^{RQ}

$$C^{RQ} = \lambda_{MQ} S^{RQ} d \quad (2)$$

其中, S^{RQ} 表示通信建立时发送的解析查找消息长度, λ_{MQ} 刻画了建立通信连接,执行解析查找的频度。

3) 分组传输开销代价(C^{PT})。数据分发时,相比优化路由,数据在非优化路径上传输而产生的额外分组开销代价,大小取决于非优化传输路径的长度和数据分发的数量。

单位时间内分组传输开销代价 C^{PT}

$$C^{PT} = \lambda_{\text{session}} E[C_{\text{session}}] d_{\text{extra}} \quad (3)$$

其中, λ_{session} 为会话到达率, $E[C_{\text{session}}]$ 表示一次会话平均发送的数据分组数目, d_{extra} 表示在数据传输时,相比于最优路径,额外路由的传输距离。假设对于特定的目标节点 MN,每执行一次解析查询,都要建立一次会话连接。

定义 1 解析映射代价函数 C_{resolve} 。解析映射的总代价开销定义为 C^{BU} 、 C^{RQ} 和 C^{PT} 3 者之和。

$$C_{\text{resolve}} = C^{BU} + C^{RQ} + C^{PT} \quad (4)$$

DDM-CF 方案就是以最小化 C_{resolve} 为目标，设计对应的解析优化策略。

定义 2 解析移动率(MMR, mapping-to-mobility radio)为单位时间 T 内解析请求到达率与 MN 切换率的比值， MMR 可表示为

$$MMR = \frac{T/t_{\text{session}}}{T/t_{\text{resid}}^{MR}} = \frac{\lambda_{MQ}^{MR}}{\gamma_{\text{handoff}}^{MR}} \quad (5)$$

其中， t_{resid}^{MR} 为 MN 在 MR 内的驻留平均时间， t_{session} 为会话平均时间。

2.2 解析通信模式划分

在设计解析映射系统时，应根据 MN 具体的移动模式和通信特征，设计对应解析优化策略，使解析机制具备动态适应性。

基于上述考虑，依据节点解析移动率 MMR 大小，将其通信状态划分为移动更新模式(MUM, moving update model)、解析查询模式(RQM, resolving query model)和均衡传输模式(BTM, balanced transmission model)。

1) 移动更新模式。 $MMR \leq \delta_{MMR}^{MB}$ ，解析查询到达率 λ_{MQ}^{MR} 较低，MN 快速移动，频繁切换，向解析系统进行映射关系注册、位置更新发送的信令开销代价在整个通信中占据主导地位。在此模式下，采用最小化映射更新的优化解析策略，最大化地减小 C^{BU} 开销。

2) 解析查询模式。 $MMR \geq \delta_{MMR}^{BR}$ ，解析查询到达率 λ_{MQ}^{MR} 较高，MN 运动缓慢，切换率低，位置注册和绑定更新开销较小，映射关系的解析、查找代价在整个通信中占据主导地位。在此模式下，采用最小化解析查询的优化策略，最大化地减小 C^{RQ} 开销。

3) 均衡传输模式。介于 MUM 和 RQM 之间， $\delta_{MMR}^{MB} < MMR < \delta_{MMR}^{BR}$ ，解析查询到达率 λ_{MQ}^{MR} 和终端的移动切换频率 $\gamma_{\text{handoff}}^{MR}$ 处于相对均等的状态，该模式下，单方面的优化映射更新或解析查询产生的开销都不能减小总的解析映射代价 C_{resolve} ，为此，提出了基于一致性散列协同的分布式存储解析优化策略，借助少量额外的绑定更新信令 C^{BU} 的发送，换取优化的解析查询 C^{RQ} 和分组路由 C^{PT} ，达到减小 C_{resolve} 的目的。

其中， δ_{MMR}^{MB} 、 δ_{MMR}^{BR} 为解析通信模式的界定阈值，具体求解算法在 2.4 节中进行说明。

2.3 解析优化策略

图 1 给出了 DDM-CF 的基本工作流程，MN 依

据 MMR 与 δ_{MMR}^{MB} 、 δ_{MMR}^{BR} 大小关系，判断对应的解析模式，采取相应的解析优化策略。通信对端(CN, correspondent node)依据 MN 的通信模式，执行对应的解析查询策略，具体包括注册更新、解析查询和数据路由 3 个方面。

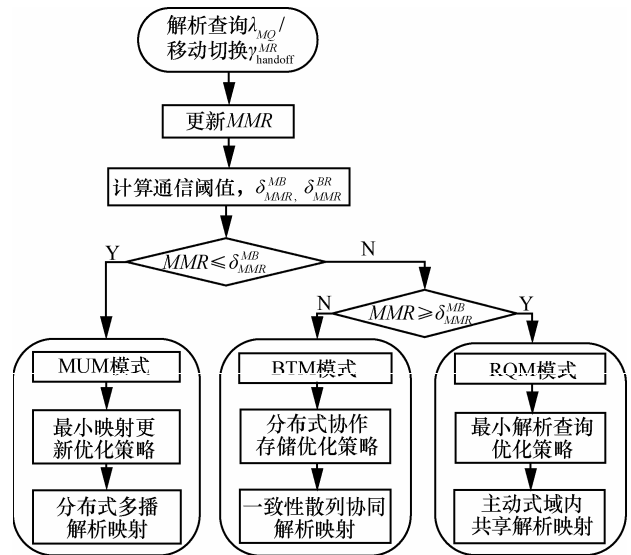


图 1 DDM-CF 基本工作流程

2.3.1 注册更新策略

1) 当 MN 处于 MUM 模式时，MN 快速移动，频繁切换，采用最小化映射更新的解析优化策略，减小 MN 移动切换过程中注册、位置更新产生的代价开销。该模式下，提出了基于分布式多播解析映射机制，如图 2 所示，移动域 MD 内所有的 MR 组成一个多播组 G ， G 的构建可以预先进行建立^[16]，组内使用多播路由进行通信。当 MN 在 MR 之间进行快速切换时，只执行与 MR 的连接过程(步骤①)，获取网络地址，无需发送任何位置更新消息，组内 MR 不执行绑定关系的更新和存储。当通信对端 CN 要与 MN 建立通信连接时，需要向多播组 G 内所有 MR 发送解析查询请求消息 Map Query (步骤③)，MUM 模式下位置更新代价 C_{MUM}^{BU} 为 0。

2) 当 MN 处于 BTM 模式时，MN 对应的解析查询和切换频率处于相对均衡的状态，单方面的优化映射更新或解析查询代价都不能减小总的解析代价 C_{resolve} 。为此，该模式提出了基于一致性散列协同定位的分布式协作存储的解析优化策略，借助少量额外的绑定更新信令的发送，换取优化的解析查询 C^{RQ} 和分组路由 C^{PT} ，达到减小 C_{resolve} 的目的。该模式下，使用一致性散列的思想来确定映射关系

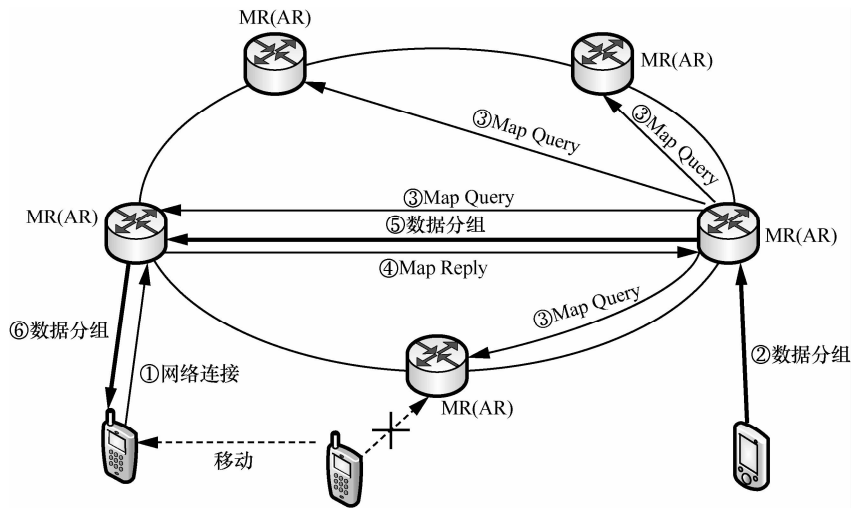


图 2 MUM 模式下的解析优化策略

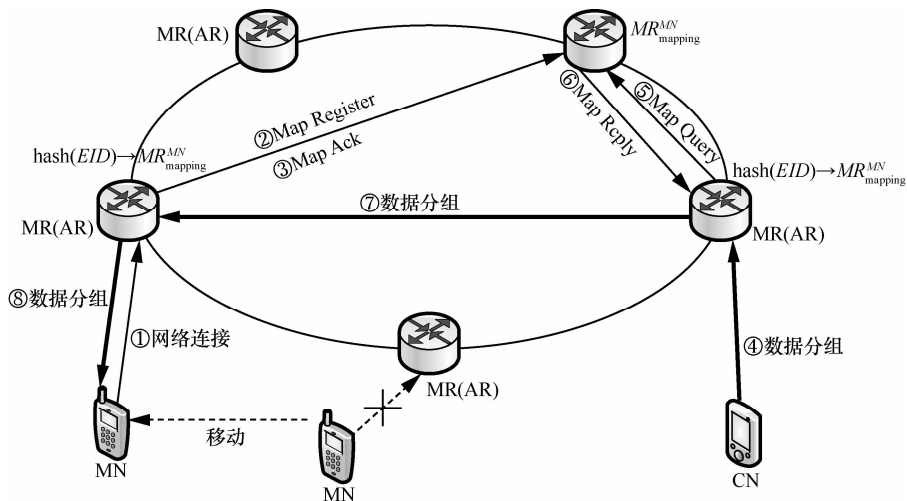


图 3 BTM 模式下的解析优化策略

的存储位置，如图 3 所示，MN 在移动域 MD 内切换时，每当连接到新的 MR，获取新的 RLOC 后（步骤①），立即向 MN 当前所在的 MR（MR_{MN}）发送最新的 EID ↔ RLOC 绑定关系。当 MR_{MN} 接收到该消息后，将 MN 的 EID 作为输入，映射空间为 MD 内所有的 MR，使用一致性散列运算来确定绑定关系要存储的目标解析路由器 $MR_{mapping}^{MN}$ 的位置，即

$$\text{hash}(EID) \rightarrow G \{MR_1, MR_2, \dots, MR_n\} \text{ output: } MR_{mapping}^{MN} \quad (6)$$

然后，将解析注册消息 Map Register 发送到目标 $MR_{mapping}^{MN}$ （步骤②），进行解析条目的更新和存储。该方案中，域内所有的 MR 共同来执行解析条目的存储和解析，实现了域内所有 MR 的共享映射存储。

当 CN 要与 MN 建立通信连接时，执行相同的散列运算，确定 MN 映射关系的存储位置，进行解析查找。BTM 模式下，映射关系只需向目标 $MR_{mapping}^{MN}$ 进行更新，位置更新代价 C_{BTM}^{BU} 介于 MUM 和 RQM 之间。

3) 当 MN 处于 RQM 模式时，采用最小化解析查询的优化策略，减小 CN 对于 MN 查找的代价开销。为此，提出了主动式域内共享的解析映射机制。如图 4 所示，MN 在移动域 MD 内切换时，每当连接到新的 MR，获取新的网络地址 RLOC 后，主动向解析系统发送解析注册消息 Map Register（步骤②），该消息中包含 MN 最新的 EID ↔ RLOC 绑定关系，向多播组 G 内的所有 MR 进行位置更新，多播组 G 内每一个 MR 都获知并存储了 MN 的最新的映射关系条目。当通信对端 CN 要与 MN 建立通信连接时，无需发送任何解析查询请求，可以直接获

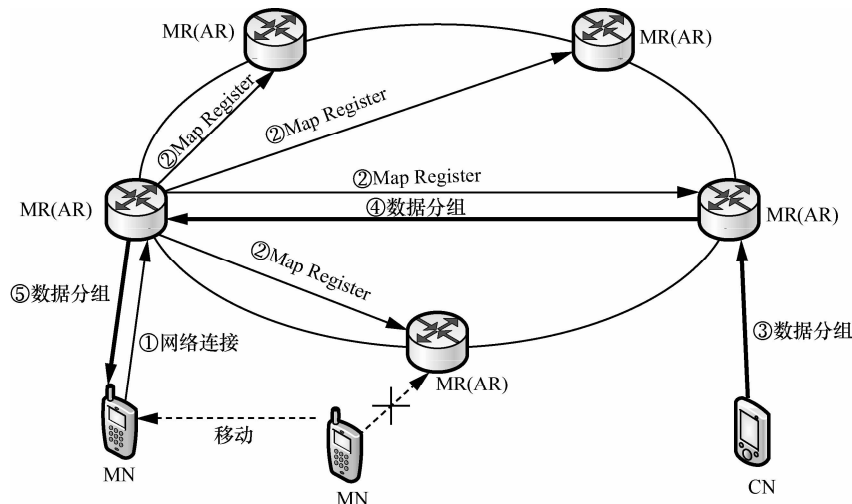


图 4 RQM 模式下的解析优化策略

得 MN 的绑定关系。RQM 模式下，移动过程中需要向组内所有 MR 发的位置更新消息，位置更新代价开销 C_{RQM}^{BU} 大于 MUM 和 BTM 模式。

2.3.2 解析查询策略

1) 当 MN 处于 MUM 模式时，采用最小化映射更新的解析优化策略。在移动切换过程中，MN 并没有发送任何的注册、更新消息。所以，当 CN 要与 MN 进行通信时，首先必须解析查询 MN 当前的 RLOC。如图 2 所示，CN 所在的 MR (MR_CN) 接受到数据请求后 (步骤②)，向 MD 内多播组 G 所有 MR 发送解析查询消息 Map Query (步骤③)。Map Query 消息在 G 内进行多播路由，当 MN 当前所连接的 MR 接收到查询请求后，进行响应。MR_MN 发送 Map Reply 消息 (步骤④) 进行应答，该消息包含 MN 当前 EID ↔ RLOC 的映射关系。MR_CN 接收到 Map Reply 消息后，提取 MN 的当前的 RLOC，与 MN 建立通信连接，发送数据。MUM 模式下，需要向多播组 G 内所有 MR 发送 Map Query 消息，引入较大的解析查找代价 C_{MUM}^{RQ} 。

2) 当 MN 处于 BTM 模式时，采用基于一致性散列协同定位的分布式协作存储的解析优化策略，通过一致性散列运算来确定 EID ↔ RLOC 映射关系的分发和存储位置，在 MD 内实现域内共享的映射存储。如图 3 所示，在移动切换过程中，MR-MN 使用预先设定的一致性散列函数来确定映射关系在 G 内存储位置，即 $MR_{mapping}^{MN}$ 。当 CN 要与 MN 建立通信连接时，MR_CN 接收到数据请求后 (步骤④)，执行相同的散列运算，首先确定 MN 绑定关

系 EID ↔ RLOC 存储的位置，然后向 $MR_{mapping}^{MN}$ 发送 Map Query 消息 (步骤⑤)。当 $MR_{mapping}^{MN}$ 接收到 Map Query 消息后，向 MR-CN 发送 Map Reply 消息 (步骤⑥) 进行相应。MR_CN 接收到 Map Reply 消息后，提取 MN 的 RLOC，与 MN 建立通信连接，发送数据。BTM 模式下，解析查询代价开销 C_{BTM}^{RQ} 介于 MUM 和 RQM 之间。

3) 当 MN 处于 RQM 模式时，采用最小化解析查询的解析优化策略。如图 4 所示，在移动切换过程中，MN 主动向多播组 G 内所有的 MR 发送 Map Register (步骤②) 消息，进行位置更新，G 内所有 MR 都存储了 MN 当前的 EID ↔ RLOC 映射关系。当 CN 要与 MN 进行通信时，MR_CN 接收到数据请求后 (步骤③)，查询自己的存储映射条目表项，提取 MN 的 RLOC，与 MN 建立通信连接，发送数据分组，在此过程中不需要发送 Map Query 消息。RQM 模式下，解析查询的代价开销为 C_{RQM}^{RQ} 为 0。

2.3.3 数据路由过程

在 MUM、RQM 和 BTM 这 3 种通信模式下，都采用了分布式的解析映射思想，域内不存在集中式的解析服务实体，分组路由、解析查询、信令交互无需经过中心化的服务节点的处理，消除了集中式的单点瓶颈问题。当 MR_CN 获知 MN 的 RLOC 后，可以直接向 MN 当前的网络位置发送数据分组，数据的路由无需经过任何中间代理或锚点的处理，不会带来额外的非优化数据路由，实现了优化的数据传输，3 种模式下分组传输开销代价 C^{PT} 都为 0。

在 MUM 模式下, MR_CN 需要暂时缓存 CN 发送的数据分组, 待 Map Reply 消息返回后, 将数据分组发送到 MN 当前位置。在 BTM 模式下, 在接收到 $MR_{mapping}^{MN}$ 的 Map Reply 消息之前, MR_CN 也需要暂时缓存 CN 发送的数据分组。在 RQM 下, 由于多播组 G 内的所有 MR 已经存储了 MN 的当前的 $EID \leftrightarrow RLOC$ 映射关系, 数据不需要进行缓存, 可以直接发送到 MN 所在的网络位置。

2.4 解析模式阈值确定

对于给定的 MMR , 根据 δ_{MMR}^{MB} 、 δ_{MMR}^{BR} 的大小关系确定对应的通信模式, 使 MN 在 MD 内移动过程中的 $C_{resolve}$ 总代价最小。对于 δ_{MMR}^{MB} , 当 $C_{resolve}^{MUM}(MMR) < C_{resolve}^{BTM}(MMR)$ 时, 则 $\delta_{MMR}^{MB} > MMR$, 对应增大阈值 δ_{MMR}^{MB} ; 当 $C_{resolve}^{MUM}(MMR) > C_{resolve}^{BTM}(MMR)$ 时, 则 $\delta_{MMR}^{MB} < MMR$, 对应减小阈值 δ_{MMR}^{MB} ; 最终当 $|C_{resolve}^{MUM}(MMR) - C_{resolve}^{BTM}(MMR)|$ 的差值在给定误差范围 ε 内时, 对应的 MMR 即为 δ_{MMR}^{MB} 的取值。给出了具体求解算法。

算法 1 δ_{MMR}^{MB} 求解算法

```

初始化:  $\delta_{MMR}^{\min}, \delta_{MMR}^{\max}, MMR, \varepsilon;$ 
 $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
while ( $|C_{resolve}^{MUM}(MMR) - C_{resolve}^{BTM}(MMR)| > \varepsilon$ )
    { if ( $|C_{resolve}^{MUM}(MMR) - C_{resolve}^{BTM}(MMR)| \leq \varepsilon$ )
         $\delta_{MMR}^{BB} = \delta_{MMR};$ 
        return ;
    else if ( $C_{resolve}^{MUM}(MMR) < C_{resolve}^{BTM}(MMR)$ )
        {  $\delta_{MMR}^{\min} = \delta_{MMR};$ 
           $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
        }
    else
        {  $\delta_{MMR}^{\max} = \delta_{MMR};$ 
           $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
        }
    end while; }
Output the best  $\delta_{MMR}^{MB};$ 

```

算法 2 δ_{MMR}^{BR} 求解算法

```

初始化:  $\delta_{MMR}^{\min}, \delta_{MMR}^{\max}, MMR, \varepsilon;$ 
 $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
while ( $|C_{resolve}^{BTM}(MMR) - C_{resolve}^{RQM}(MMR)| > \varepsilon$ )
    { if ( $|C_{resolve}^{BTM}(MMR) - C_{resolve}^{RQM}(MMR)| \leq \varepsilon$ )
         $\delta_{MMR}^{BR} = \delta_{MMR};$ 
        return ;
    }

```

```

else if ( $C_{resolve}^{BTM}(MMR) < C_{resolve}^{RQM}(MMR)$ )
    {  $\delta_{MMR}^{\min} = \delta_{MMR};$ 
       $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
    }
else
    {  $\delta_{MMR}^{\max} = \delta_{MMR};$ 
       $\delta_{MMR} = (\delta_{MMR}^{\min} + \delta_{MMR}^{\max})/2;$ 
    }
end while; }
Output the best  $\delta_{MMR}^{BR};$ 

```

在确定出 δ_{MMR}^{MB} 的最优取值后, 对于 δ_{MMR}^{BR} , 采取同样的算法在 $MMR > \delta_{MMR}^{MB}$ 的范围内搜索确定, 当 $|C_{resolve}^{BTM}(MMR) - C_{resolve}^{RQM}(MMR)|$ 的差值在给定误差范围内时, 对应的 MMR 即为 δ_{MMR}^{BR} 的取值。

3 仿真及性能分析

3.1 实验参数

在 Linux 系统平台下, 使用 Mobiwani: NS-2 extensions to study mobility in wide-area IPv6 networks 协议模块, 进行域内解析实验仿真分析^[22], 服务器配置 CPU 3.99 GHz, 内存 1 GB, 软件版本 NS-2.33。域内 MR 数量 N_{MR} 的取值范围为 10 到 100^[18], MR 之间平均路由跳数为 $\sqrt{N_{MR}}$ ^[16], BTM 模式下 MR-CN 执行一致性散列运算的开销设为 $\delta \log(N_{MR})$ ^[17]。EID 标识的长度设为 160 bit^[5], 移动性属性 (M) 字段 2 bit, 用于标识 MN 所属的通信模式。RLOC 长度设为 128 bit^[5], 一个 EID 由于多接口可以同时绑定多个 RLOC, 数量设为 4^[23]。每个 $EID \leftrightarrow RLOC$ 的映射关系的长度为 $160+4 \times 128+4 \times 12+12+2=774$ bit, 其中, TTL 字段 12 bit, 属性偏好字段 12 bit。解析查询率 λ_{MQ} 服从参数为 λ 的 Poisson 分布, 单位时间内到达的解析查询请求 λ 的大小可依据 MN 被访问的流行度来决定^[20]。MN 在 MR 内的驻留时间 t_{resid}^{AR} 服从 Gamma 分布, 一次会话期间, 发送和接收的平均分组数 $C_{session}$ 服从正态分布, 数据分组长度设为 1 000 byte, $E[C_{session}]=20$, $\sigma^2=625$ ^[24]。图 5 给出了 $N_{MR}=100$ 时的网络仿真拓扑。

3.2 性能分析

对本文提出的 DDM-CF 解析机制和 PMIPv6^[9], LISP-DMC^[16], PMIP-HD^[17] 方案进行对比分析。表 1 给出了 $E[C_{session}]=20$, $N_{MR}=30$, $\gamma_{handoff}^{MR}=1$ 时, 基于数学分析计算得出的各解析方案的映射代价分布。

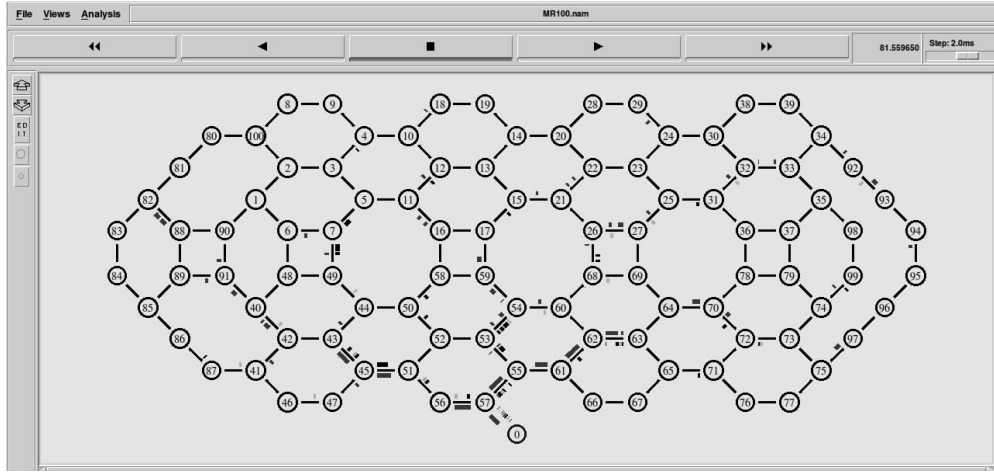


图 5 网络仿真拓扑 ($N_{MR}=100$)

表 1 解析映射代价对比 ($N_{MR}=30$)

MMR	DDM-CF			PMIPv6	LISP-DMC	PMIP-HD	BTM ↔ MUM		RQM ↔ BTM	
	MUM	BTM	RQM				C_{extra}	C_{save}	C_{extra}	C_{save}
0.01	233	3 908	23 520	65 040	231	3 840	3 870	193	#	#
0.1	2 322	4 527	23 520	72 200	2 307	4 400	3 870	1 935	#	#
0.21	4 644	4 639	23 520	81 200	4 650	4 800	3 870	3 876	19 350	813
1	23 220	7 740	23 520	113 900	20 000	7 500	#	#	19 350	3 870
5.08	117 957	23 529	23 520	165 000	100 000	24 500	#	#	19 350	19 388
10	232 200	42 570	23 520	186 000	220 000	44 000	#	#	19 350	38 700
100	2 322 000	390 870	23 520	597 000	1 135 000	350 000	#	#	19 350	387 000

表 2 解析映射代价对比 ($N_{MR}=50$)

MMR	DDM-CF			PMIPv6	LISP-DMC	PMIP-HD	BTM ↔ MUM		RQM ↔ BTM	
	MUM	BTM	RQM				C_{extra}	C_{save}	C_{extra}	C_{save}
0.01	58 050	547 218	5 805 000	947 218	57 939	547 218	501 800	41 282	#	#
0.1	58 050	59 598	580 500	401 250	57 939	86 765	50 180	41 282	#	#
0.12	58 050	58 038	483 750	375 600	57 939	59 050	41 231	41 282	277 239	5 418
1	58 050	10 836	58 050	89 000	57 939	12 036	#	#	33 282	5 418
9.30	58 050	6 106	6 112	64 000	57 939	6 076	#	#	5 411	5 418
10	58 050	5 959	5 805	59 636	57 939	5 944	#	#	3 328	5 418
100	58 050	5 418	580	40 000	57 939	5 472	#	#	332	5 418

表 1 中，解析模式通信阈值 $\delta_{MMR}^{MB}=0.21$ ， $\delta_{MMR}^{BR}=5.08$ ，其中， C_{extra} 代表相邻解析模式之间额外发送的绑定更新代价开销 C^{BU} ， C_{save} 表示对应节省的解析查询 C^{RQ} 和分组路由 C^{PT} 开销，“#”表示在该 MMR 范围内无有效取值，表中灰色部分标识了 DDM-CF 解析代价分布。当 $MMR \leq \delta_{MMR}^{MB}$ 时，DDM-CF 采用最小化映射更新的优化策略；随着 MMR 的增大，当 $\delta_{MMR}^{MB} < MMR < \delta_{MMR}^{BR}$ 时，执行一致

性散列协同的解析优化策略，借助少量额外 C^{BU} 的发送，换取优化的解析查询 C^{RQ} 和分组路由 C^{PT} ，达到减小 $C_{resolve}$ 的目的；当 $MMR \geq \delta_{MMR}^{BR}$ 时，转化为 RQM 解析模式，最小化 C^{RQ} 。相比其他解析方案，在 3 种通信模式下，DDM-CF 均实现了解析映射代价 $C_{resolve}$ 的最小化。表 2 给出了 $E[C_{session}]=20$ ， $N_{MR}=50$ ， $\lambda_{MQ}=1$ 时，各解析方案的映射代价分布。

图 5 给出了当 $E[C_{\text{session}}]=20$, $N_{MR}=30$ 时 DDM-CF 解析映射代价 C_{resolve} 整体分布。 C_{resolve} 由 MUM、BTM 和 RQM 解析通信模式对应的映射代价 C_{resolve}^{MUM} 、 C_{resolve}^{BTM} 和 C_{resolve}^{RQM} 分布构成, 对于任意给定的 λ_{MQ} 和 $\gamma_{\text{handoff}}^{MR}$, 对应 MMR 在所属通信模式下的解析映射代价是 3 个代价曲面中最小的, 实现了解析映射代价的最小化。

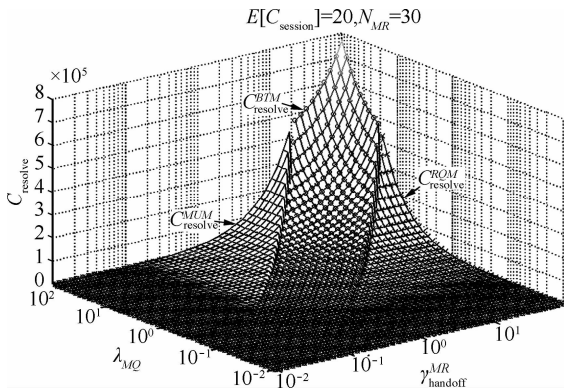


图 6 DDM-CF 解析映射代价 C_{resolve} 分布

图 7 给出了当 $E[C_{\text{session}}]=20$, $N_{MR}=30$, $\gamma_{\text{handoff}}^{MR}=1$ 时 4 种方案的解析映射代价 C_{resolve} 对比, 其中, DDM-CF 对应的 $\delta_{MMR}^{MB}=0.20$, $\delta_{MMR}^{BR}=5.11$ 。由于 PMIPv6 是集中式的域内解析方案, 分组路由需要经过集中式本地移动锚点 LMA 的中转和解封装, 引入大量额外的分组传输开销代价 C^{PT} 。对于分布式的多播方案 LISP-DMC, 随着 MMR 的不断增大, 解析查找率 λ_{MQ} 不断增加, 需要多播发送大量的解析查询消息, 对应的 C^{RQ} 在 BTM 和 RQM 范围内会大幅增加; 对于 PMIP-HD 方案, 在 MUM 和 RQM 模式下, 查询率 λ_{MQ} 的增大会引入大量的代价开销;

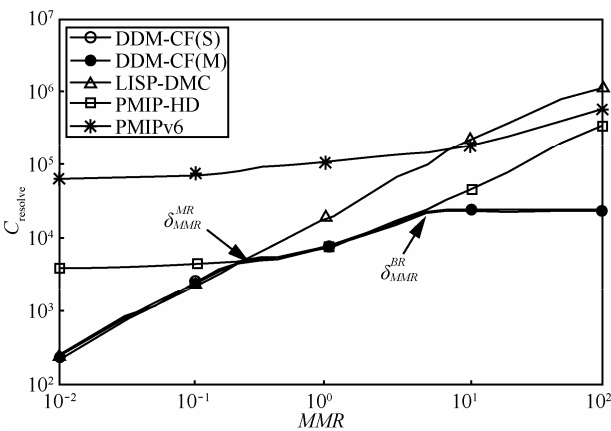


图 7 解析映射代价 C_{resolve} 对比 ($N_{MR}=30$)

图 7 中, DDM-CF(M)表示的是基于数学分析计算得出的 DDM-CF 解析代价曲线, 实验仿真得出的结果和数学计算得出的数据基本一致, 其中 DDM-CF 的解析代价是 4 种方案中最小的。

图 8 所示为 $E[C_{\text{session}}]=20$, $N_{MR}=50$ 时, $\lambda_{MQ}=1$ 时, 4 种方案的解析映射代价 C_{resolve} 对比, 其中 DDM-CF 对应的 $\delta_{MMR}^{MB}=0.12$, $\delta_{MMR}^{BR}=9.26$ 。随着 N_{MR} 的数量增加, MUM 和 RQM 通信模式下对应的解析查询 C^{RQ} 和位置更新 C^{BU} 代价都会成比例增加, δ_{MMR}^{MB} 会相应减小, δ_{MMR}^{BR} 会相应增大, MUM 和 RQM 对应的通信范围减小。BTM 模式下, EID ↔ RLOC 映射关系只在目标 MR_{mapping}^{MN} 进行更新和解析查找, 不受 N_{MR} 数量增加的影响, BTM 模式在整个通信中占据的范围不断增大。相比其他方案, DDM-CF 的解析映射代价是 4 种方案中最小的, 对于域内 N_{MR} 数量的动态变化具有良好的适应性。

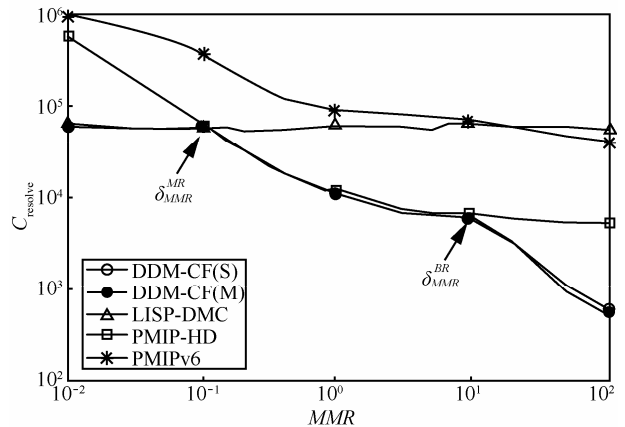


图 8 解析映射代价 C_{resolve} 对比 ($N_{MR}=50$)

图 9 给出了 $E[C_{\text{session}}]=20$ 时, 4 种方案解析时延 T_{MQ} 对比分析, 其中 T_{MQ} 表示从 MR_CN 接受数据请求后, 到解析查询出对应的 EID ↔ RLOC 映射关系的时延。MUM 模式下, T_{MQ} 主要取决与对应 MR-MN 的通信时延; BTM 模式下, MR_CN 需要执行一致性散列运算, 来确定映射关系对应的目标 MR_{mapping}^{MN} 的位置, 然后进行 Map Query/Map Reply 解析查询交互, 解析时延增加, 大于 BTM 模式下的 T_{MQ} ; RQM 模式下, 只需查询 MR_CN 的映射条目表项即可, 无需发送 Map Query 消息进行解析交互和函数运算, 解析时延 T_{MQ} 最小。

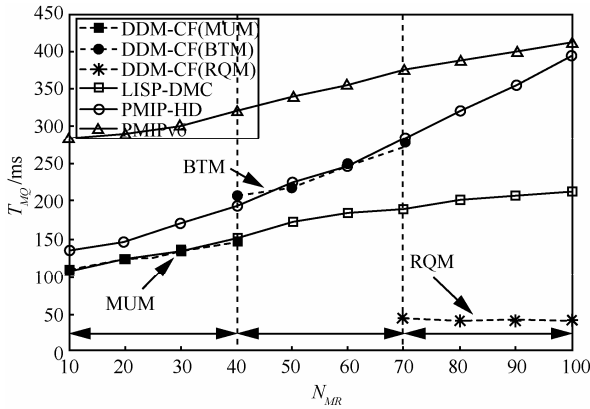


图 9 解析时延 T_{MQ} 对比 ($E[C_{session}]=20$)

3.3 适应性讨论

图 10 给出了 $E[C_{session}]=50$, $N_{MR}=30$ 时, 4 种方案的解析映射代价对比。随着 $E[C_{session}]$ 的增大, 分组数量增加, 对于 PMIPv6, 分组数据的传输必须经过域内 LMA 的中转, 由于非优化路径导致的分组传输开销代价 C^{PT} 将会大幅增加; 对于 DDM-CF 方案, 在 MUM、BTM 和 RQM 这 3 种通信模式下采用的都是分布式的解析映射, MD 内不存在任何中心化的解析映射服务器和集中式的数据锚点, 实现了分组的优化路由, C^{PT} 为 0, 不受 $E[C_{session}]$ 数量变化影响。相比其他方案, DDM-CF 的解析映射代价是 4 种方案中最小的, 解析模式阈值 $\delta_{MMR}^{MB}=0.20$, $\delta_{MMR}^{BR}=5.13$, 大小几乎不变, 对于 $E[C_{session}]$ 数量的动态变化具有良好的适应性。

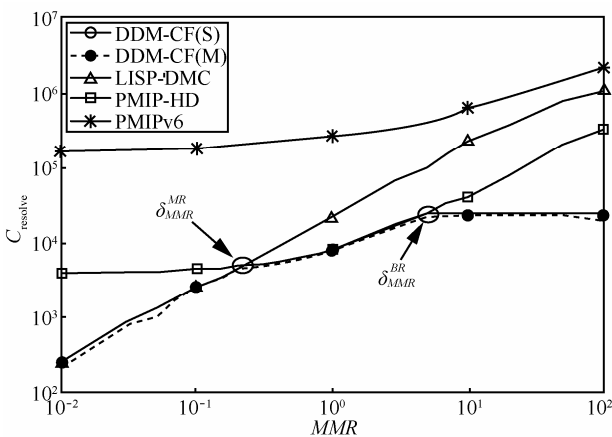


图 10 解析映射代价 $C_{resolve}$ 随 $E[C_{session}]$ 的变化

图 11 给出了 $E[C_{session}]=50$, N_{MR} 取值分别为 30, 50 和 100 时, DDM-CF 解析映射代价分布。在 MUM 和 RQM 通信模式下, 解析查询 C^{RQ} 和位置更新 C^{BU} 的代价开销与多播组 G 内 N_{MR} 的数量大

小成正比。在 BTM 模式下, 绑定映射关系 $EID \leftrightarrow RLOC$ 只在目标 $MR_{mapping}^{MN}$ 进行更新和解析查找, 不受 N_{MR} 数量变化的影响。随着 N_{MR} 数量的增加, δ_{MMR}^{MB} 会相应减小, δ_{MMR}^{BR} 相应增大, MUM 和 RQM 对应的通信范围减小, BTM 模式在整个通信中占据的范围不断增大。DDM-CF 在各解析模式下依然保持最小 $C_{resolve}$ 代价开销, 对于域内 N_{MR} 数量的动态变化具有良好的适应性。

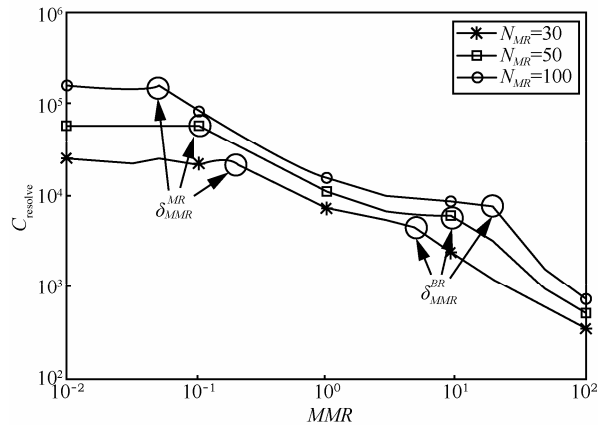


图 11 DDM-CF 解析映射代价分布

4 结束语

本文设计了一种基于代价函数的动态分布式解析映射机制。该机制依据 MN 解析移动率 MMR 的大小, 将其通信状态划分为移动更新、均衡传输和解析查询 3 种模式。在各解析模式下, 以最小化解析映射代价为目标, 分别提出了基于分布式多播、一致性散列协同和主动式域内共享的解析映射方法, 设计了相对应的注册更新、解析查询优化策略。该机制实现了移动过程中解析映射代价的最小化, 具有较小的通信时延, 对网络结构的动态变化具有良好的适应性。由于 DDM-CF 属于域内的移动解析映射机制, 如何将其和域间的解析方法有效结合, 设计全局性的分布式解析映射方案, 是下一步的重点研究工作。

参考文献:

[1] MICHAEL H, MICHAEL M, MATTHIAS H. A survey of mapping systems for locator/identifier split internet routing[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 99: 1-17.
 [2] 万明, 刘颖, 张宏科. 位置与身份分离协议下一种基于信任度模型的新型映射机制[J]. 通信学报, 2011, 32(7): 133-145.
 WAN M, LIU Y, ZHANG H K. New mapping approach based on

- reputation model under locator/ID separation protocol[J]. *Journal on Communications*, 2011, 32(7): 133-145.
- [3] MEYER D, FARINACCI D, FUEER V, *et al.* The Locator Identifier Separation Protocol (LISP)[S]. IETF RFC 6830, 2013.
- [4] CHAN H A, YOKOTA H, XIE J, *et al.* Distributed and dynamic mobility management in mobile internet: current approaches and issues[J]. *Journal of Communications*, 2011, 6(1): 4-15.
- [5] LUO H B, ZHANG H K, QIAO C M. Efficient mobility support by indirect mapping in networks with locator/identifier separation[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2011, 60(5):2265-2279.
- [6] RAYCHAUDHURI D, NAGARAJA K, VENKATARAMANI A. MobilityFirst: a robust and trustworthy architecture for the future internet[J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*. 2012, 16(3): 2-13.
- [7] 兰巨龙, 程东年, 胡宇翔. 可重构信息通信基础网络体系研究[J]. *通信学报*, 2014,(1):128-139.
LAN J L, CHENG D N, HU Y X. Research on reconfigurable in formation communication basal network architecture[J]. *Journal on Communications*, 2014, (1):128-139.
- [8] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. Mobility Support for IPv6[S]. IETF RFC 3775, 2004.
- [9] GUNDAVELLI S, LEUNG K, DEVARAPALLI V, *et al.* Proxy Mobile IPv6[S]. IETF RFC 5213, 2008.
- [10] FARINACCI D, LEWIS D, MEYER D, *et al.* LISP mobile node[S]. IETF Internet Draft, draft-meyer-lisp-mn-08, 2012.
- [11] FARINACCI D, FULLER V. LISP Map Server[S]. IETF Internet Draft, draft-ietf-lisp-ms-00, 2009.
- [12] LEAR E. NERD: A Not-so-novel EID to RLOC Database[S]. IETF RFC 6837, 2012.
- [13] CHAN H. Proxy mobile IP with distributed mobility anchors[A]. *Proceedings of IEEE GlobeCom 2010 Workshop on Seamless Wireless Mobility*[C]. Miami, USA, 2010.16-20.
- [14] MENTH M, HARTMANN K D. Improvements to LISP mobile node[A]. *Proceedings of 22th International Teletraffic Congress*[C]. Amsterdam, Holand, 2010.1-8.
- [15] KRISHNAN S, LOUREIRO P, WU Q. Localized Routing for Proxy Mobile IPv6[S]. IETF RFC 6705, 2012.
- [16] MONEEB G, SEOK J K. Network-based distributed mobility control in localized mobile LISP networks[J]. *IEEE Communications Letters*, 2012, 16(1): 104-107.
- [17] KIM J I, KOH S J. Distributed mobility management in proxy mobile IPv6 using hash function[A]. *International Conference on Information Networking*[C]. Bangkok, Thailand, 2013.107-112.
- [18] HEEYOUNG J, MONEEB G, KIM J I, *et al.* Distributed mobility control in proxy mobile IPv6 networks[J]. *IEICE Transactions on Communications*, 2011, E94-B(8): 2216-2224.
- [19] KIM C, CAESAR M, REXFORD J. Floodless in SEATTLE: a scalable ethernet architecture for large enterprises[A]. *Proceedings of ACM SIGCOMM 2008*[C]. New York, USA, 2008.3-14.
- [20] TAM V, AKASH B, ZHANG Y Y, *et al.* DMap: a shared hosting scheme for dynamic identifier to locator mappings in the global internet[A]. *IEEE International Conference on Distributed Computing System*[C]. Macau, China, 2012.698-707.
- [21] LIU X B, YAO N, DONG P, *et al.* A study on the resolution methods of mapping relationship between identity and location in the universal network[A]. *2008 Cross-Strait Conference on information Science and Technology*[C]. Beijing, China, 2008.50-56.
- [22] ERNST T. MobiWan: NS-2 extensions to study mobility in Wide-Area IPv6 Networks[EB/OL]. <http://www.inrialpes.fr/planete/mobiwan>.
- [23] AKELLA A, PANG J, SHAIKH A, *et al.* A comparison of overlay routing and multihoming route control[A]. *Proceedings of ACM SIGCOMM 2004*[C]. Portland, USA, 2004.93-106.
- [24] SANGHEON P, SHEN X M, JON W M, *et al.* Adaptive route optimization in hierarchical mobile IPv6 networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, 6(8): 903-913.

作者简介:



葛国栋 (1985-), 男, 陕西咸阳人, 国家数字交换系统工程技术研究中心博士生, 主要研究方向为新型网络体系结构、分布式解析映射技术。

郭云飞 (1963-), 男, 河南郑州人, 国家数字交换系统工程技术研究中心教授、博士生导师, 主要研究方向为新型网络体系结构、移动互联网。

兰巨龙 (1962-), 男, 河北张家口人, 国家数字交换系统工程技术研究中心教授、博士生导师, 主要研究方向为可重构新型网络体系结构、高性能网络路由和交换技术。

刘彩霞 (1974-), 女, 山东烟台人, 国家数字交换系统工程技术研究中心副教授、硕士生导师, 主要研究方向为新型网络体系结构、移动互联网。