

基于 POF-ICN 架构的新移动性体系^①



赵光远, 王 雷, 方盛宇

(中国科学技术大学 信息科学技术学院, 合肥 230027)

通讯作者: 赵光远, E-mail: lczy@mail.ustc.edu.cn

摘 要: 信息中心网络是一种全新的网络体系, 其通过内容名来进行寻址和路由. 然而, 目前并没有一种高效而简洁的方案可以实现生产者与消费者之间的移动. 本文旨在构建一种基于 POF-ICN 架构下的移动性支持体系, 本体系主要通过设备在全局解析系统上的注册位置信息、移动管理、会话管理和控制器协作工作来维护相关业务信息和规划路径以支持移动性. 通过实验模拟和仿真, 发现在网络状况良好的情况下, 消费者成功发送请求后, 几乎所有的请求都成功完成响应, 并且在网络比较拥塞的情况下通过预规划路径的方式可以有效提高请求响应率. 研究表明, 本研究提出的构建体系方案可以在生产者与消费者之间实现简洁而高效的移动性支持, 并且可以通过预规划路径有效地降低移动丢包率.

关键词: 信息中心网络; 移动性支持; 生产者; 消费者

引用格式: 赵光远, 王雷, 方盛宇. 基于 POF-ICN 架构的新移动性体系. 计算机系统应用, 2019, 28(3): 201-207. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6822.html>

New Mobility System Based on POF-ICN Architecture

ZHAO Guang-Yuan, WANG Lei, FANG Sheng-Yu

(School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: The Information Centric Networking is a brand new network architecture that addresses and routes content names. However, there is no efficient and concise solution to realize the movement between producers and consumers. This study proposes a mobility support scheme based on the POF-ICN architecture. It registers location information, mobility management, session management, and controller collaboration to maintain related business information and plan paths in order to support the movement between producers and consumers. The system mainly uses the device to register the location information on the global resolution system, and then the mobile management, session management and the cooperation between the controllers. This work is to maintain related business information and planning paths, in order to support mobility. Through related experiments, we found that almost all requests successfully complete the response after the consumer successfully sends the request. And the pre-planned path can effectively improve the request response rate when the network is relatively congested. This research proves that the proposed mobility support scheme based on the POF-ICN architecture can implement the mobility support between producers and consumers concisely and efficiently. Moreover, the mobile packet loss rate can be effectively reduced by the pre-planned path.

Key words: Information Centric Networking (ICN); mobility; producer; consumer

随着移动互联网的迅猛发展, 移动流量飞速增长给当前网络的承载能力带来巨大挑战^[1]. 然而, 传统的

基于 IP 的路由方式与现在以信息为中心的服务需求明显不匹配^[2], 所以研究新型网络架构以适应当前网络

① 基金项目: 国家科技重大专项 (2017ZX03001019-004)

Foundation item: National Science and Technology Major Program (2017ZX03001019-004)

收稿时间: 2018-09-27; 修改时间: 2018-10-19; 采用时间: 2018-10-29; csa 在线出版时间: 2019-02-22

状况十分必要。

本研究中提出的信息中心网络 (Information Centric Networking, ICN) 是一种关注于信息本身的新型网络架构, 网络内路由通过内容名实现. 与传统 IP 网络相比, ICN 在内容分发、安全性和移动性方面有着天然的优势^[2,3]. 软件定义网络 (Software Defined Network, SDN)^[4]将控制平面与转发平面分离, 在控制平面用户可以扩展协议, 而协议无感知转发 (Protocol Oblivious Forwarding, POF) 技术^[5]则是基于 SDN 的一个扩展, 支持自定义协议. SDN 和 POF 的提出使 ICN 的实现成为可能. 但如何构建 ICN 网络还未有定论, 在移动性方面的研究则更加屈指可数: Zhang 提出移动优先网络^[6] (MobilityFirst), 然而该方案不能保证生产者发生移动时当前业务的连续性. Ahlgren 提出 NetInf 架构^[7], 其使用名称解析服务 (Name Resolution, NR) 来实现 ICN: 生产者将内容和地址发布到相应 NR 服务器中, 消费者通过 NR 来获取所需内容. 对于该方案, 名称解析的速度是实现生产者移动的性能瓶颈之一. Lagutin 提出 PSIRP 架构^[8]: 采用发布/订阅的方式, 生产者发布内容, 消费者通过对应的应用标识符进行订阅. 实现消费者移动可以通过重订阅, 但是无法实现生产者移动. NDN 架构^[9]通过链路状态协议进行路由, 该架构的移动性研究主要有: 设置移动锚点^[10,11], 但其会导致三角路由问题; 更新转发信息表 (Forwarding Information Base, FIB)^[12,13], 但实现方案过于复杂, 且有额外的流量开销; 地址解析服务^[14], 然而该方案在移动性方面没有任何服务质量的保障. 目前的 ICN 研究中并没有一种理想的移动性方案.

本研究以 ICN 和 POF 为基础, 拟建立一种全新的 ICN 移动性支持体系, 结合控制平面的计算能力协同移动管理模块来实现网络中的移动支持性. 与以往的研究相比, 本研究充分利用了 ICN 将地址与内容解耦, 控制与数据转发分离的特性, 能够简洁高效地实现生产者和消费者之间的移动性支持, 同时还能确保足够低的丢包率与移动切换时延.

1 基于 POF-ICN 的移动性支持方案

1.1 POF-ICN 架构

图 1 为 POF-ICN 架构, 采用 SDN 的思想分离出转发平面和控制平面, 控制平面与控制器的北向接口通信, 提供管理服务. 控制器的南向接口则与数据平面通信控制数据的转发. 控制器已知全网拓扑结构.

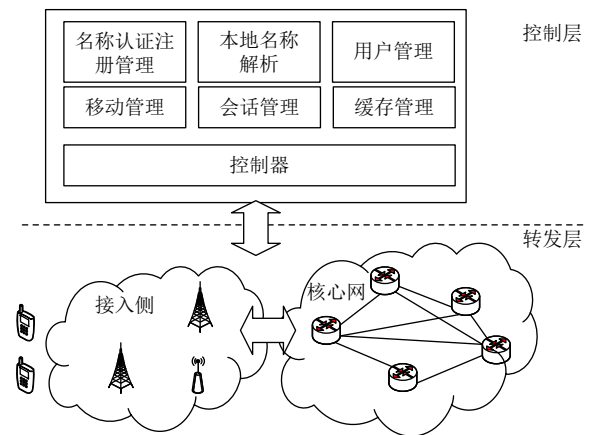


图 1 POF-ICN 架构

命名方案: 层次化的人类可读名字 (Hierarchical Human Readable Name, H-HRN, 以下简称 HRN) 与扁平化的自验证全局唯一标识符 (Flat Self-certified Entity Unique IDentity, FS-EUID, 以下简称 EUID) 相结合.

全局名称解析服务 (Global Name Certification, id Assignment and Resolution service, GNCAR): NA (Network Address) 表示 POF-ICN 实体所在的位置. GNCAR 可以将 HRN 与 EUID, EUID 与 NA 绑定, 同时可以完成 EUID 到 NA 的解析服务. 考虑到移动性, 将 EUID 和 NA 作动态绑定, 即发生移动时网络设备会向 GNCAR 发送注册信息, GNCAR 查询并更新对应绑定关系.

路由过程: ① 获取 NA: 消费者请求名称解析服务获取目标 NA; ② 域间路由: 根据域间/域内路由协议将请求报文转发到目标网络域; ③ 域内路由: 控制器根据网络状况合理规划转发路径并下发流表, POF 交换机根据流表转发请求报文到生产者.

1.2 基于 POF-ICN 的移动性支持

POF-ICN 中通过移动管理模块 (Mobility Management Entity, MME)、会话管理模块 (Session Management, SM) 与控制器相互协作实现移动性支持. MME 对移动用户进行检测定位、重定位与带宽分配. SM 维护逻辑连接、保证业务连续性与会话质量, 同时定期与 MME 和控制器进行交互获取业务双方的移动状态信息. 控制器根据 SM 反馈信息按需的重新规划路径.

1.2.1 会话管理 SM

POF-ICN 网络中, 为维护逻辑连接、保证业务连续性 & 会话质量, 需根据不同终端属性、用户类别和

业务特征等配置会话和传输参数,实现按需的会话管理.需要会话管理的业务主要包括语音通信类业务和多宿主传输业务等.

会话管理模块是软件模块,部署在控制面,其主要功能是注册和管理会话、对会话状态进行监测及对会话参数进行计算与配置.

1.2.2 消费者移动性支持

POF-ICN 架构下消费者移动如图 2 所示,消费者切换接入点 (Access Point, AP) 后再次发出请求,交换机将请求报文转发给控制器,控制器重新规划路径并下发流表.

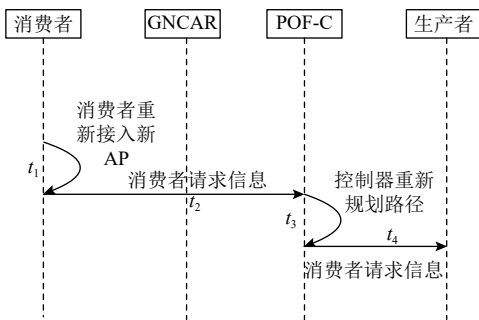


图 2 消费者移动

上述流程中的控制器重新规划路径阶段可能会有请求报文丢失,所以路径规划时间会影响移动过程中业务可靠性与连续性.我们将移动切换延迟定义为设备发生切换前接收到最后一个数据包与发生切换后接收到第一个数据包的时间间隔,则消费者移动切换总时延为 $t_1+t_3+2 \times RTT$,丢包数量为 $(t_1+t_3+2 \times RTT) \times request_rate$, RTT 为链路平均往返时延.因此在基于 POF-ICN 的移动性支持系统中还实现了对路径的提前规划,以提高服务质量.由于提前规划路径必须记录业务相关信息,其只能应用于会话业务中,协同 SM 来实现,过程为:① SM 定期向 MME 查询消费者连接状态;② MME 监测消费者连接状态,若预测到消费者将发生移动,SM 查询时 MME 会报告该消费者可能接入的下一个接入点 (AP);③ SM 会将该会话业务的相关会话信息、下次可能接入的接入点 (AP) 和对应生产者的接入点 (AP) 发送至控制器;④ 控制器在这两个接入点 (AP) 之间规划新的路径提前下发流表.当消费者发生预期移动后,可以按照已规划好的路径直接进行当前会话.

1.2.3 生产者移动性支持

在 POF-ICN 中,生产者会周期性公告内容信息,

当生产者发生移动切换后会向 GNCAR 重新注册内容信息,控制器收到向该生产者的请求报文后会重新规划路径将其转发到生产者新的位置.生产者移动切换流程为:① 生产者重新接入新的 AP,向 GNCAR 注册接入的位置.② 生产者公告其所拥有的内容,控制器将其内容信息转发给会话管理模块 SM,SM 更新对应的会话信息并将结果反馈给控制器.③ 控制器根据得到的会话信息对相应会话进行重新路径规划并下发流表.④ 切换成功后控制器向交换机发起删除相关会话失效流表的操作.

流程图 (图 3) 中 t_3 代表生产者公告周期,不同内容的公告周期与其所公告的内容相关.对单个业务的生产者移动切换总时延为 $t_1+t_2+t_3+t_4+2 \times RTT$.定义生产者移动切换时延为生产者所有业务的平均切换时延,生产者移动切换时延如式 (1) 所示, S 表示生产者的业务数量.

$$\frac{t+t+t+t+2 \times RTT}{N(S)} \quad (1)$$

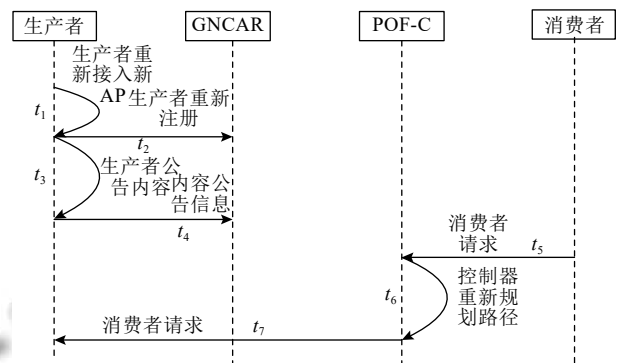


图 3 生产者移动

式 (2) 表示平均丢包数量:

$$\frac{\sum_{s \in S} (t_{s1} + t_{s2} + t_{s3} + t_{s4} + 2 \times RTT_s) \times request_rate_s}{N(S)} \quad (2)$$

对于有服务质量保障需求并属于会话类的业务,控制器可以在生产者移动前提前为业务规划路径.主要流程与消费者移动支持的相关流程相似,皆可通过 MME 对生产者进行移动预测、通过 SM 查询进行中的相关会话及通过控制器提前规划路径.两者的区别在于生产者可能包含大量业务,提前规划路径需要对每一个相关的会话业务都重新规划其路径,会占用更

多的网络资源.

2 实验验证

2.1 实验环境

本实验基于 POX 控制器与 POF 交换机, 通过使用 libpcap 来实现生产者与消费者.

Libpcap 是一种基于 Unix 的开源库, 支持在网卡处抓取、处理和发送报文, 并且支持自定义报文格式.

由于在实验中没有涉及跨域移动性支持的实验研究, 可以直接在控制器上增加 GNCAR 维护的注册与名称解析功能来合理的简化系统. 图 4 为本实验中使用的公告包、兴趣包和数据包格式.

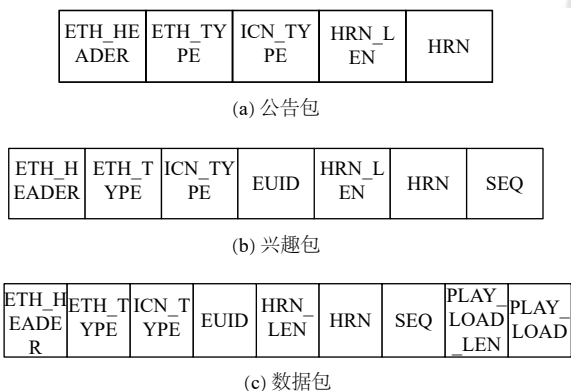


图 4 公告包、兴趣包和数据包

2.2 消费者移动性支持实验

图 5(a) 为消费者移动实验拓扑, 消费者位于 s1 上, 生产者位于 s4 上, 切换消费者转发端口模拟移动.

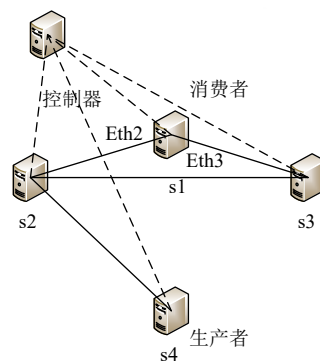
实验步骤: ① 启动交换机和控制器, 完成拓扑发现; ② 生产者发送内容“test_content”的公告包; ③ 消费者发起请求, 切换收发数据端口模拟消费者移动, 然后重新发送请求; ④ 记录相关信息.

我们定义单次请求响应率 DRSR (Data Ratio by a Single Request): 在没有重传机制下移动设备接收到的数据包与发起的请求数量比值, 如式 (3):

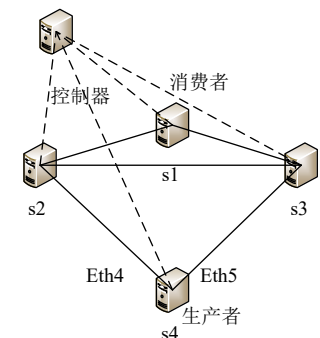
$$DRSR = \frac{N(data)}{N(request)} \quad (3)$$

实验首先验证了在 POF-ICN 下采用本研究所提出的工作流程可以成功实现消费者移动性支持. 通过观察 s1 上 eth2 与 eth3 的流量情况, 可以看出消费者切换转发端口后 eth2 与 eth3 上流量发生了改变, 表明消费者成功切换. 除此之外, 我们还比较了在有和无提

前规划路径情况下的 DRSR. 实验结果显示, 在没有重传机制, 网络状况良好的情况下, 发送相同的兴趣包, 提前规划路径可以得到更多的响应数据 (在网络状况良好的情况下 DRSR 接近 100%), 而无提前规划路径情况下的 DRSR 则低于 90%. 此研究中提前规划路径情况下的 DRSR 接近 100%, 可能因为实验中网络环境过于理想.



(a) 消费者移动实验拓扑



(b) 生产者移动实验拓扑

图 5 移动实验拓扑

通过生产者延迟发送数据模拟链路拥塞状况, 图 6 为不同时延下 DRSR 的值, 横坐标为生产者发送数据的延迟时间, 纵坐标为 DRSR, 可以看出随着生产者发送时延增加 DRSR 的值逐渐下降: 在提前规划路径的情况下, 延迟时间为 5 ms 时 DRSR 为 93%, 10 ms 情况下为 87%, 20 ms 情况下为 78%. 当路径规划延迟为 10 ms 的情况下, 延迟时间为 5 ms 时 DRSR 为 83%, 10 ms 情况下为 77%, 20 ms 情况下为 66%. 当路径规划延迟为 50 ms 的情况下, 延迟时间为 5 ms 时 DRSR 为 43%, 10 ms 情况下为 36%, 20 ms 情况下为 25%.

2.3 消费者移动仿真实验

由于物理实验规模有限, 通过仿真实验来模拟复

杂网络拓扑下消费者移动情况. 各模块设置为:

1) 生产者模块: 生产者收到兴趣包进行解析, 将所请求的信息与对应的时间戳构造数据包并进行转发.

2) 消费者模块: 为请求者设置简单的重传机制: 请求者在一定时间内未收到响应便会请求重传. 重传时间模拟当前 TCP 中使用的重传机制, 即根据每次得到的报文段取样得到报文段的样本 RTT (sample RTT), 根据样本确定重传时延. 取样操作可采用固定时间间隔. 因为网络状况的波动, 所以对于任何给定的样本 RTT 都是非典型的, 因此要取得典型的 RTT, 需要对其进行指数加权移动平均 (EWMA): $estimated\ RTT = (1-\alpha) \times estimated\ RTT + \alpha \times sample\ RTT$, 设 α 的值为 0.125. 因为越近的样本所反映出的网络状况越接近当前网络状况, 给最近的样本较大的权值. 定义 RTT 偏差 $devRTT$, 用于估算 $sample\ RTT$ 偏离 $estimated\ RTT$ 的程度: $devRTT = (1-\beta) \times devRTT + \beta \times |sample\ RTT - estimated\ RTT|$, 其中 $devRTT$ 是 $sample\ RTT$ 和 $estimated\ RTT$ 之差的指数加权移动平均, 如果 $sample\ RTT$ 的波动小, 那么 $devRTT$ 的波动便会小. 第一次的 $devRTT = 1/2(sample\ RTT)$, 以后可按公式来计算, β 取 0.25.

3) 交换机模块: 交换机模块维护待转发报文队列并完成流表匹配. 接收到请求报文后, 交换机模块更新其时间戳并且根据该请求是否匹配流表来处理请求: 如果匹配, 将请求直接进行转发, 否则将其转发给控制器. 此外, 交换机模块会删除长期未匹配的失效流表.

4) 控制器模块: 控制器使用分支限界法来进行路径规划并向交换机下发对应流表. 为了模拟真实网络中控制器规划路径的时间, 设置其“规划路径时延”为某一范围内的随机数, 该范围取 30 ms 到 50 ms.

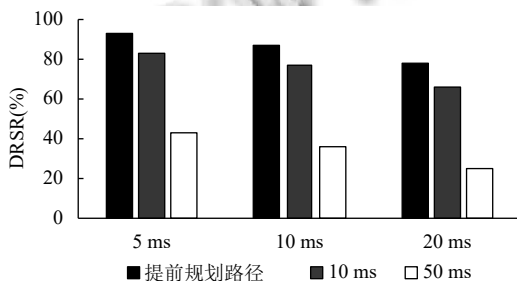


图6 链路“拥塞”与消费者移动

图7为消费者移动仿真实验拓扑图, 模拟消费者从1经过2、3、4、5最终移动并接入到6节点的具

体过程. 我们定义请求响应率为消费者接收到的数据包数量与其发送的请求的比值. 通过请求响应率来分析实验结果.

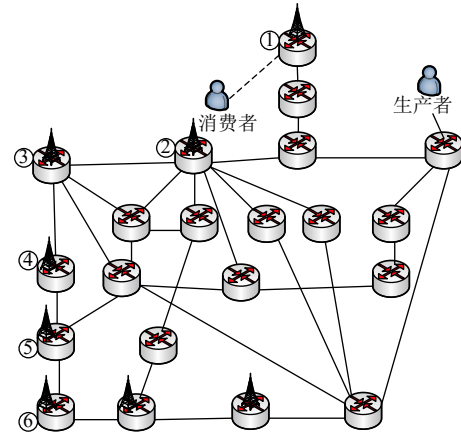


图7 消费者移动仿真拓扑

实验结果如图8所示, 横坐标为节点, 纵坐标为对应节点请求响应率. 我们定义点 i 的请求响应率为消费者从接入点 i 到接入点 $i+1$ 后经过固定时间间隔的平均请求响应率, 消费者移动后的重新规划路径阶段发送了较多的请求, 所以请求响应率会有所下降 (对每个接入点其请求响应率都下降 10% 左右).

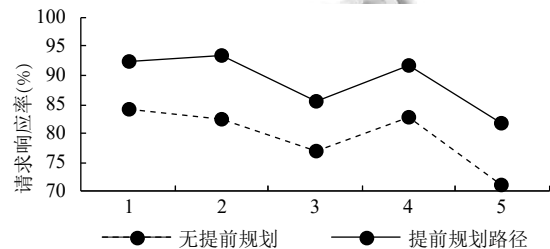


图8 请求响应率变化

2.4 生产者移动性支持实验

如前文图5(b)所示, 生产者在 s4 上通过切换网卡来模拟生产者移动, 消费者在 s1 上请求数据.

生产者移动性支持实验首先验证了在 POF-ICN 下采用本研究所提出的工作流程可以成功实现生产者移动性支持: 在生产者移动前后, 消费者皆可以正常得到所请求的数据. 此外, 实验还比较了无和有提前规划路径情况下对生产者移动所产生的影响, 图9显示的是无和有提前规划路径情况下对生产者移动的影响, 横坐标表示路径规划延迟, 纵坐标表示消费者的请求

响应率,无提前规划路径情况下路径规划延迟为 10 ms 时消费者的 *DRSR* 为 88%, 路径规划延迟为 50 ms 时消费者的 *DRSR* 为 73%, 有提前规划路径情况下消费者的 *DRSR* 为 99%。数据表明,有提前规划路径情况下消费者的 *DRSR* 明显高于无提前规划路径情况下消费者的 *DRSR*。

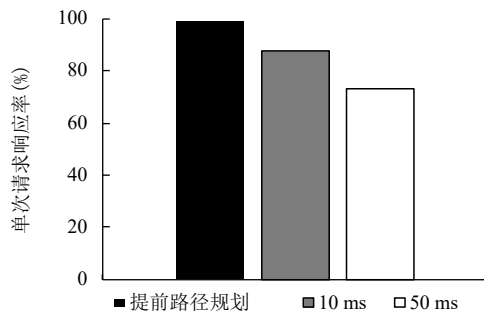


图9 路径规划延迟与请求响应率

在该实验中生产者切换端口时会立刻重新进行内容公告。图 10 表示公告周期对 *DRSR* 的影响, 横坐标表示公告周期, 纵坐标表示 *DRSR*。从图中可以看出, 在没有提前规划路径的情况下公告周期越长 *DRSR* 越低, 当路径规划延迟为 10 ms 时公告延迟为 2 ms 的 *DRSR* (85%) 比公告延迟为 10 ms 的 *DRSR* (78%) 高 7%, 当路径规划延迟为 50 ms 时公告延迟为 2 ms 的 *DRSR* (71%) 比公告延迟为 10 ms 的 *DRSR* (63%) 高 8%, 因为路径规划时必须要有生产者位置及其公告的业务信息, 而提前规划路径时生产者在重新接入时会直接收到消费者的请求并响应, 因此没有受到公告周期的影响。

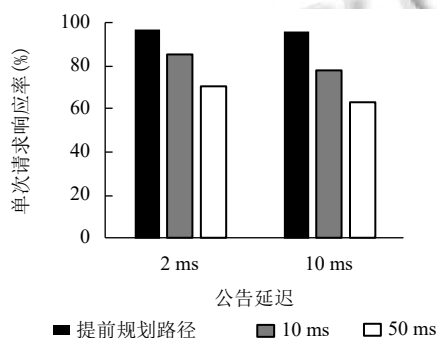


图10 公告周期与响应率

3 结论与展望

本文基于 POF 与 ICN 融合架构, 分别研究了对于

消费者和生产者的移动性支持机制并且进行了相关验证, 实验证明了本研究所提方案的可行性, 同时表明提前规划路径能够有效减少丢包率。为了减少移动过程中的延迟与丢包, 对于端到端的实时会话还提出了在控制平面分离出会话管理模块的方案, 未来工作中将会细化控制平面分离出会话管理模块方案并进行进一步的实验验证, 实现对会话类业务的监测和管理, 对减少移动过程中的延迟与丢包, 实现无缝移动提供有价值的理论和实验依据。

参考文献

- 林闯, 雷蕾. 下一代互联网体系结构研究. 计算机学报, 2007, 30(5): 693-711. [doi: 10.3321/j.issn:0254-4164.2007.05.001]
- 胡骞, 武穆清, 郭嵩. 以内容为中心的未来通信网络研究综述. 电信科学, 2012, 28(9): 74-80.
- Xylomenos G, Ververidis CN, Siris VA, *et al.* A survey of information-centric networking research. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(2): 1024-1049.
- McKeown N, Anderson T, Balakrishnan H, *et al.* OpenFlow: Enabling innovation in campus networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 69-74. [doi: 10.1145/1355734]
- Song HY. Protocol-oblivious forwarding: Unleash the power of SDN through a future-proof forwarding plane. Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking. Hong Kong, China. 2013. 127-132.
- Zhang FX, Nagaraja K, Zhang YY, *et al.* Content delivery in the MobilityFirst future Internet architecture. 2012 35th IEEE Sarnoff Symposium. Newark, NJ, USA. 2012. 1-5.
- Ahlgren B, D'Ambrosio M, Marchisio M, *et al.* Design considerations for a network of information. Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference. Madrid, Spain. 2008. 66.
- Lagutin D, Visala K, Tarkoma S. Publish/subscribe for internet: PSIRP perspective. Conference Paper. April 2010 with 134 Reads. 2010. 84. [doi: 10.3233/978-1-60750-539-6-75]
- Zhang LX, Afanasyev A, Burke J, *et al.* Named data networking. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2014, 44(3): 66-73. [doi: 10.1145/2656877]
- Lee J, Cho S, Kim D. Device mobility management in content-centric networking. IEEE Communications

- Magazine, 2012, 50(12): 28–34. [doi: [10.1109/MCOM.2012.6384448](https://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6384448)]
- 11 Hermans F, Ngai E, Gunningberg P. Global source mobility in the content-centric networking architecture. Proceedings of the 1st ACM Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design—Architecture, Algorithms, and Applications. Hilton Head, SC, USA. 2012. 13–18.
 - 12 Han D, Lee M, Cho K, *et al.* Publisher mobility support in content centric networks. Proceedings of 2014 International Conference on Information Networking. Phuket, Thailand. 2014. 214–219.
 - 13 Kim DH, Kim JH, Kim YS, *et al.* Mobility support in content centric networks. Proceedings of the Second Edition of the ICN Workshop on Information-centric Networking. Helsinki, Finland. 2012. 13–18.
 - 14 Zhu ZK, Afanasyev A, Zhang LX. A new perspective on mobility support. <http://www.named-data.net/techreport/TR013-mobility.pdf>. [2013-07-19]

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn