

CCN 网络中一种基于代理主动缓存的用户移动性支持方案

饶迎* 高德云 罗洪斌 周华春
(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

摘要: 该文提出以内容为中心的网络(CCN)中一种基于代理的主动缓存方案。通过代理服务器主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容, 解决 CCN 网络中用户移动性支持问题。与现有 CCN 网络用户移动性支持方案相比, 该文提出的基于代理的主动缓存方案, 用户获取内容的时间成本与代理服务器获取内容的时间成本较低, 用户的移动切换时延与内容获取的平均时间较短。该方案可有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 减缓用户移动对实时业务的不良影响。

关键词: 以内容为中心的网络(CCN); 用户移动; 代理; 主动缓存

中图分类号: TN915.03

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2013)10-2347-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2012.01725

Proxy-based Proactive Caching Approach for Enhancing Consumer Mobility Support in Content Centric Networks

Rao Ying Gao De-yun Luo Hong-bin Zhou Hua-chun

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper proposes a proxy-based proactive caching approach for enhancing consumer mobility in Content Centric Networks (CCN). The approach requests proactively and caches the contents that a user does not receive but is requested before a handover process. Compared with other approaches for consumer mobility, the analytical and simulation results indicate that the proposed approach has shorter handover delay and less average content retrieval time. In addition, the proposed approach costs less in retrieving content for mobile users. This approach can also support efficient content sharing in mobile CCN environments and alleviate negative effects of consumer mobility on real-time services.

Key words: Content Centric Networks (CCN); Consumer mobility; Proxy; Proactive caching

1 引言

CCN(Content Centric Networking)^[1], 是施乐公司帕洛阿托研究中心(PARC)提出的一个新的网络架构; 它采用“以内容为中心”的设计思想, 关注的是内容本身, 而非内容的存储位置。CCN 可通过内容名字, 对内容进行唯一标识, 亦可通过内容名字, 实现内容与内容存储位置的分离。如此, 用户无需再将内容的请求转发至拥有该内容的特定主机, 仅采用基于内容的路由转发机制, 即可从提供该内容的邻近节点取回相应的内容。此外, CCN 还可通过节点对内容的缓存, 加快网络中其它用户访问缓存内容的响应时间, 在减少内容获取时间的同

时, 进一步减轻网络的拥塞状况, 提高网络资源的利用率。

CCN 作为一个新兴的网络架构, 还存在移动性、可扩展性、安全性等问题, 有待进一步研究与完善^[2]。在该网络架构下, 由于用户仅需了解内容名字即可取回所需内容, 因而用户移动切换完成后, 无需更新其所在的位置信息, 即可在新的位置上请求与获取所需内容。但是, 用户移动切换完成后, 仍需重新请求其移动切换过程中未能获取的内容, 导致的移动切换时延, 将对紧急事故的实时通报、网络电话、在线视频会议以及在线游戏等对时延敏感的实时业务产生较大的影响。

迄今为止, 对 CCN 网络中用户移动性问题的研究文献并不多见。文献[3]指出现有 CCN 网络存在用户移动性、数据源移动性等问题。但是, 该文献并未给出具体的用户移动性支持方案。文献[4,5]提出了一种基于代理的移动性管理方案(PBM), 通过

2012-12-31 收到, 2013-04-27 改回

国家自然科学基金(61202428, 61271200, 61271202), 国家科技重大专项(2012ZX03005003), SRFDP (20110009120004), 北京市自然科学基金(4122060)和中央高校基本科研业务费专项资金(2012YJS013)资助课题

*通信作者: 饶迎 11111028@bjtu.edu.cn

引入用户代理服务器, 对用户移动切换前请求的内容进行缓存。PBM 可有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间。但是, PBM 仍需借助传统的 IP 网络, 才可实现 CCN 内容的请求与获取。文献[6]提出了一种主动选择邻居缓存方案(SNC), 通过权衡用户获取内容的成本与代理服务器缓存内容的成本, 选择一组最优的邻居代理服务器, 主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容。SNC 可进一步减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间。但是, SNC 未考虑到代理服务器获取内容的时间成本, 亦无法有效利用 CCN 网络共享的内容资源。

为此, 本文提出了一种基于代理的主动缓存方案(PBC), 由原代理服务器主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容, 并触发用户可能移动至的邻居代理服务器, 主动地向邻近的原代理服务器请求与缓存该部分内容。如此, 用户移动切换完成后, 仅需将重传的请求消息(CCN 中用于请求内容的消息)转发至其移动切换后接入的代理服务器, 即可取回该用户移动切换过程中未能获取的内容。PBC 无需借助传统的 IP 网络, 即可实现 CCN 内容的请求与获取; 并可通过有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 降低代理服务器获取内容的时间成本, 减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间。

文章的第 2 节描述了 CCN 网络的用户移动性问题; 第 3 节介绍了本文提出的基于代理的主动缓存方案; 第 4 节与第 5 节, 对比测试了如上 3 种方案用户获取内容的时间成本、代理服务器获取内容的时间成本与内容获取的加权成本, 以及用户的移动切换时延与内容获取的平均时间; 最后在第 6 节, 给出结论。

2 CCN 网络的用户移动性问题

CCN 采用“用户驱动”的通信模式。用户向与之相连的所有可用链路, 广播用于请求内容的请求消息; CCN 网络中任意接收到该请求消息、并且能够提供该请求消息所请求内容的 CCN 节点, 都将沿着请求消息的转发路径, 反向转发一个包含被请求内容的数据消息至请求该内容的用户; 同时, 数据消息转发路径上的 CCN 节点, 还将依据自身的缓存策略与缓存资源, 缓存数据消息包含的内容。

上述通信流程涉及的请求消息与数据消息, 是 CCN 仅有的两种消息类型。用于请求内容的请求消息, 主要包含 3 个选项: 内容名字、对内容的选择条件与随机数; 用于提供被请求内容的数据消息, 主要包含 4 个选项: 内容名字、签名、签署信息与被请求的内容。请求消息与数据消息共有的选项: 内容名字, 是被请求内容的唯一标识, 通过这个全球唯一的、人类可读的、不定长的标识, 可确立请求消息与数据消息的一一对应关系。

此外, CCN 可依据内容大小将单个完整内容划分为一个或多个较小的内容块, 并为每个内容块分配一个唯一的内容名字, 因而用户还可依据实际需求, 先通过请求消息/数据消息交互逐次请求与获取单个内容块, 再进一步组合成用户所需的完整内容。文中“内容块”与“完整内容”均属于“内容”这一范畴, 故下文仅用“内容”一词概括表述。

现有 CCN 用户移动场景示例如图 1 所示, 用户 Alice 在观看内容提供方 Bob 提供的视频/Bob/Toalice.avi/V1 的过程中, 从 CCN 路由器 CR00 移动切换至 CCN 路由器 CR30。用户 Alice 移动切换前通过 AP00 接入至 CR00, 移动切换后通过 AP30 接入至 CR30; 单个 CCN 路由器可接入若干 AP。该场景示例的通信流程具体如下:

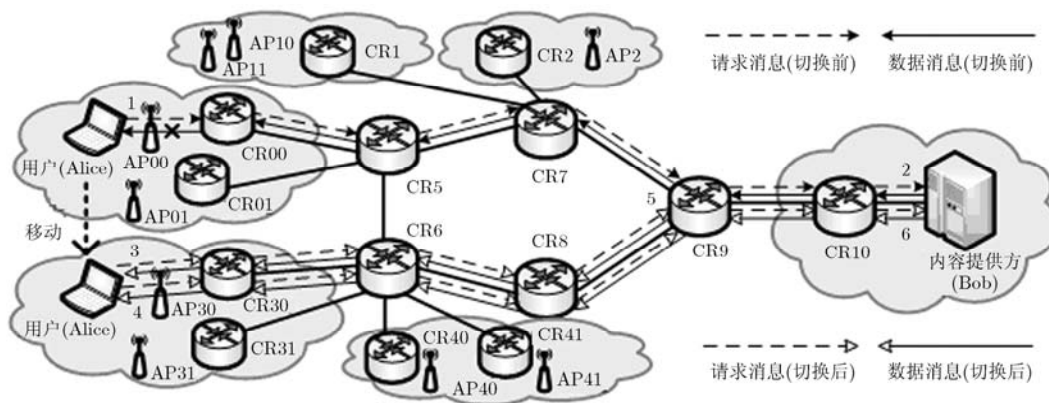


图 1 现有 CCN 用户移动场景示例

(1) Alice 移动切换开始前, 沿着路径 1(Alice, CR00, CR5, CR7, CR9, CR10, Bob), 转发请求消息(内容名字为: /Bob/Toalice.avi/V1/Sn, n= 1, 2, 3, ..., 62, n 为视频内容块的序号)至 Bob;

(2) Bob 接收到请求消息后, 沿着路径 2(路径 1 的反向路径), 转发包含被请求内容的数据消息; 同时, 路径 2 途径的 CCN 路由器缓存数据消息包含的内容;

(3) Alice 在数据消息到达前已开始移动切换, 无法接收到 Bob 提供的的内容, 而 CCN 路由器的 FIB(Forwarding Information Base, 记录有请求消息的可选转发路径)更新需要一定的时间, 故 Alice 移动切换完成后, 需沿着路径 3(Alice, CR30, CR6, CR8, CR9), 重传 Alice 移动切换前未被满足的请求消息(内容名字为: /Bob/Toalice.avi/V1/Sn, n= 43, ..., 62), 以取得 Alice 在移动切换前请求但未能获取的内容;

(4) 此外, Alice 还需沿着路径 4(Alice, CR30, CR6, CR8, CR9, CR10, Bob), 重传 Alice 移动切换过程中因与网络断开而未能成功转发至网络的未被满足的请求消息(内容名字为: /Bob/ Toalice.avi/V1/Sn, n=63, ..., 72), 以取得 Alice 在移动切换过程中请求但未能获取的内容;

(5) CR9 接收到请求消息(内容名字为: /Bob/Toalice.avi/V1/Sn, n=43, ..., 62)后, 沿着路径 5(路径 3 的反向路径), 转发包含被请求内容的数据消息; 同时, 路径 5 途径的 CCN 路由器缓存数据消息包含的内容;

(6) Bob 接收到请求消息(内容名字为: /Bob/Toalice.avi/V1/Sn, n=63, ..., 72)后, 沿着路径 6(路径 4 的反向路径), 转发包含被请求内容的数据消息; 同时, 路径 6 途径的 CCN 路由器缓存数据消息包含的内容。

现有 CCN 中, 用户移动切换完成后, 仍是依据未完全更新的 FIB, 重新请求其移动切换过程中未能获取的内容。一方面, 用户无法就近获取已缓存至邻近 CCN 节点(CR5)的内容, 不能有效利用 CCN 网络共享的内容资源; 另一方面, 用户的移动切换时延与内容获取的平均时间较长, 将可能对实时业务产生较大的影响。

3 基于代理的主动缓存方案

为有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间, 本文提出了一种基于代理的主动缓存方案(PBC)。PBC 假

设用户移动切换前的原代理服务器, 已知其邻居代理服务器的名字与邻居代理服务器所维护 AP 的 AP 标识之间的映射信息, 亦可通过对用户的行为分析, 得出用户可能移动至的邻居代理服务器, 并将利用特殊请求消息包含的信息, 代替用户完成所需内容的请求与获取。用户移动切换前, 可通过现有 CCN 的请求消息/数据消息交互, 请求与获取所需内容; 用户移动切换即将开始时, 可利用物理链路信息或路由通告消息^[5,7], 检测当前网络状态的变化, 确定移动切换开始的时间, 并可通过特殊请求消息的转发, 促使原代理服务器与用户可能移动至的邻居代理服务器, 主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容; 用户移动切换完成后, 仅需将重传的请求消息转发至其移动切换至的代理服务器, 即可取回用户移动切换过程中未能获取的内容。

PBC 定义的特殊请求消息具有如图 2 所示的消息格式。

代理服务器名字
内容信息(移动切换过程中用户未能获取内容的内容名字, ...)
移动信息(用户移动状态 MS, AP-ID, ...)
随机数

图2 特殊请求消息消息格式

图 2 中, 特殊请求消息包含 4 个选项: 代理服务器名字(即: 该特殊请求消息需转发至的代理服务器的名字)、内容信息、移动信息(如: 用户移动状态 MS, MS 为 0, 表明用户即将开始移动切换, MS 为 1, 表明用户已经完成移动切换; AP-ID, 用户移动过程中通过链路层扫描得到的一个或多个信号强度逐渐增大的 AP 标识)与随机数。代理服务器可依据特殊请求消息包含的信息, 开始或停止主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容。

PBC 用户移动场景如图 3 所示, 用户移动切换前通过 AP00 与 CCN 路由器 CR00 接入至代理服务器 Proxy0; 移动切换后通过 AP30 与 CCN 路由器 CR30 接入至代理服务器 Proxy3; 单个代理服务器可维护若干 CCN 路由器; 单个 CCN 路由器可接入若干 AP。

该场景的通信流程具体如下:

(1) 用户移动切换即将开始时, 利用物理链路信息或路由通告消息(如: 接收到 AP00 的信号强度逐渐减小至预设定的切换阈值), 检测当前网络状态的

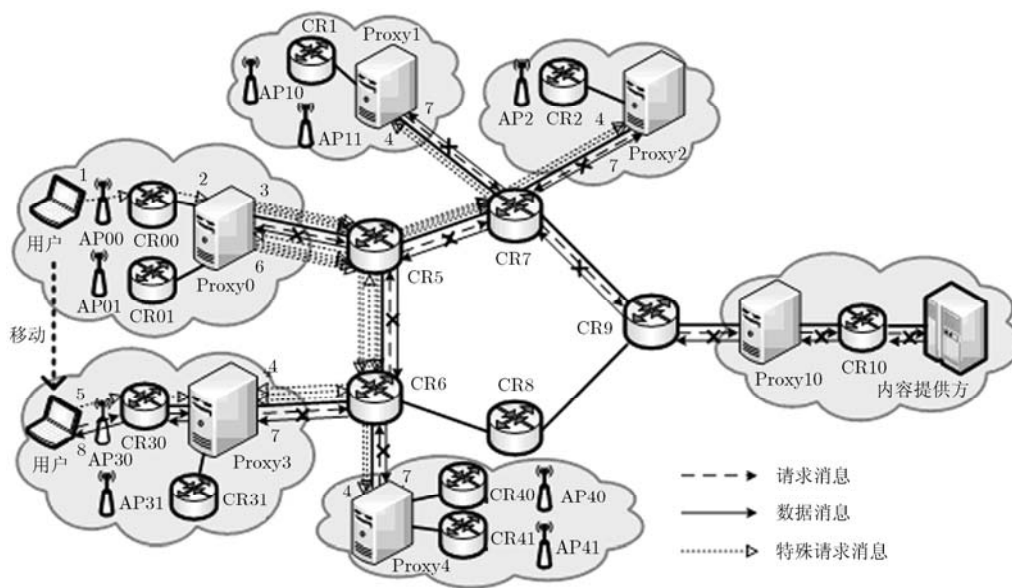


图 3 基于代理的主动缓存方案(PBC)用户移动场景

变化, 确定移动切换开始的时间; 同时, 发送特殊请求消息(MS 为 0)至 Proxy0;

(2)Proxy0 接收到特殊请求消息(MS 为 0), 将依据该消息包含的内容信息, 开始主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容; 同时, 将依据该消息包含的移动信息(AP-ID)分析用户的行为, 确定用户可能移动至的邻居代理服务器;

(3)Proxy0 发送特殊请求消息(MS 为 0)至用户可能移动至的邻居代理服务器(图 3 场景中的 Proxy1, Proxy2, Proxy3, Proxy4, 该图省略 Proxy0 的其它邻居代理服务器), 并促使该消息转发路径上的 CCN 节点更新用户所需内容对应的 FIB 条目;

(4)Proxy1, Proxy2, Proxy3, Proxy4 接收到特殊请求消息(MS 为 0), 将依据更新后的 FIB, 主动地向 Proxy0 请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容;

(5)用户完成至 Proxy3 的移动切换后, 发送特殊请求消息(MS 为 1)至 Proxy0;

(6)Proxy0 接收到特殊请求消息(MS 为 1), 停止相关的主动请求与缓存进程, 并进一步发送特殊请求消息(MS 为 1)至 Proxy1, Proxy2, Proxy3, Proxy4;

(7)Proxy1, Proxy2, Proxy3, Proxy4 接收到特殊请求消息(MS 为 1), 停止向 Proxy0 请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容;

(8)用户移动切换完成后, 仅需将重传的请求消息转发至 Proxy3, 即可取回该用户移动切换过程中未能获取的内容。

在 PBC 中, 用户可通过调整信号强度的切换阈

值, 适当提前其发送特殊请求消息(MS 为 0)的时间, 尽早触发相关邻居代理服务器的主动请求与缓存进程。因而, 在一般情况下, 该方案可保证用户可能移动至的邻居代理服务器, 在用户移动切换完成前, 取回并缓存移动切换过程中用户未能获取的内容。本文现仅讨论该方案的一般情况并假定用户将移动切换至原代理服务器选定的邻居代理服务器集合。

PBC 与 SNC 均需主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容, 可以增大代理服务器获取内容的时间成本为代价, 减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间。但是, PBC 用户可能移动至的所有邻居代理服务器, 均主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容, 故该方案不存在用户移动至未被选择的邻居代理服务器的场景。此外, PBC 用户可能移动至的邻居代理服务器数量有限^[8,9], 亦均是从邻近的原代理服务器获取所需的内容, 故该方案还可有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 降低内容获取的加权成本。

PBC 与 PBM 均可就近获取已缓存至原用户代理服务器或原代理服务器的内容, 能够有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 减少用户的移动切换时延与内容获取的平均时间。但是, PBC 用户移动切换至的代理服务器, 已主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容, 故该方案用户的移动切换时延与内容获取的平均时间更短。此外, PBC 无需借助传统的 IP 网络, 即可实现 CCN 内容的请求与获取, 故该方案还将具有更广泛的适用范围。

下文将从内容获取的加权成本分析、移动切换时延与内容获取的平均时间仿真测试两方面对比 PBM, SNC 与本文提出的 PBC。

4 内容获取的加权成本分析

本文综合考虑用户获取内容的时间成本与其对应的成本权重、代理服务器获取内容的时间成本与其对应的成本权重,定义内容获取的加权成本,如式(1)所示。

$$T_{wc} = \left(\alpha \quad \beta \right) \begin{pmatrix} T_c \\ T_p \end{pmatrix} = \alpha \times T_c + \beta \times T_p \quad (1)$$

式中 $\alpha + \beta = 1$, T_c 为用户获取内容的时间成本(如:链路的传输时延与节点的处理时延), α 为 T_c 对应的成本权重, T_p 为代理服务器获取内容的时间成本(如:链路的传输时延与节点的处理时延), β 为 T_p 对应的成本权重;内容获取的加权成本 T_{wc} 即为 $\alpha \times T_c$ 与 $\beta \times T_p$ 之和。由于 α 与 β 的取值决定了 T_c 与 T_p 在 T_{wc} 中所占的比重,而 T_c 的大小直接反映了用户的服务体验等级,故而本文建议在分析 T_{wc} 时,设定 α 的取值大于 β 。

T_c , T_p , T_{wc} 及其相互的关系如图4所示。图中, a 为用户从其代理服务器获取内容所需的时间; b 为代理服务器从与之相邻的其它代理服务器获取内容所需的时间; c 为代理服务器从内容提供方获取内容所需的时间; x 为用户移动切换前请求但未能获取的内容的数量; y 为用户移动切换过程中请求但未能获取的内容的数量。

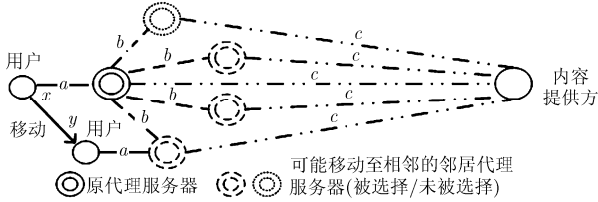


图4 T_c , T_p , T_{wc} 及其相互的关系

若 SNC 被选择主动缓存的邻居代理服务器的数量为 N , 用户移动至被选择的邻居代理服务器的概率为 p_{hit} ; PBC 用户可能移动至的邻居代理服务器的数量为 M ; 则现有 CCN(式(2)), PBM(式(3)), SNC(式(4))与 PBC(式(5))中 T_c , T_p 与 T_{wc} 分别为

$$\left. \begin{aligned} T_{c0} &= (x+y) \times (a+c), & T_{p0} &= x \times c \\ T_{wc0} &= \alpha \times (x+y) \times (a+c) + \beta \times (x \times c) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} T_{c1} &= x \times (a+b) + y \times (a+c), & T_{p1} &= x \times c \\ T_{wc1} &= \alpha \times [x \times (a+b) + y \times (a+c)] + \beta \times (x \times c) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} T_{c2} &= (x+y) \times [p_{hit} \times a + (1-p_{hit}) \times (a+c)] \\ T_{p2} &= (x \times c) + N \times (x+y) \times c \\ T_{wc2} &= \alpha \times (x+y) \times [p_{hit} \times a + (1-p_{hit}) \times (a+c)] \\ &\quad + \beta \times [(x \times c) + N \times (x+y) \times c] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} T_{c3} &= (x+y) \times a, & T_{p3} &= (x+y) \times c + M \times (x+y) \times b \\ T_{wc3} &= \alpha \times (x+y) \times a + \beta \times [(x+y) \times c + M \times (x+y) \times b] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

假定图4中 $x:y=1:2$, $a < b < c$, $b:a=3:1$ 。设定 $\alpha : \beta = 3:1$ (即: $\alpha = 0.75$, $\beta = 0.25$, 该取值经过多次调整测试后确定,可较好地区分各方案内容获取的加权成本),且 $M=4$,用户将以 $\{0.4, 0.3, 0.2, 0.1\}$ 的概率移动至相邻的4个邻居代理服务器(即: $N=1$, $p_{hit}=0.4$; $N=2$, $p_{hit}=0.7$; $N=3$, $p_{hit}=0.9$; $N=4$, $p_{hit}=1$)^[6]。若以现有 CCN 为基准,则 PBM, SNC 与 PBC 中用户获取内容的时间成本 T_c , 代理服务器获取内容的时间成本 T_p 以及内容获取的加权成本 T_{wc} , 将具有如图5,图6所示的变化趋势。

图5中, c/b 为“代理服务器从内容提供方获取内容所需的时间”与“该代理服务器从与之相邻的其它代理服务器获取内容所需的时间”的比值; T_{cn}/T_{c0} 与 T_{pn}/T_{p0} 分别为“各方案用户或代理服务器获取内容的时间成本”与“现有 CCN 用户或代理服务器获取内容的时间成本”的比值。如图5所示: PBM 用户代理服务器未主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容,故 PBM 用户获取内容的时间成本 T_{c1} 最高、代理服务器获取内容的时间成本 T_{p1} 最低; SNC 用户移动至被选择的邻居代理服务器的概率 p_{hit} 随着 N 的增加而增大,故 N 越大, SNC 用户获取内容的时间成本 T_{c2} 越低、代理服务器获取内容的时间成本 T_{p2} 越高; PBC 用户可能移动至的所有邻居代理服务器均主动请求与缓存移动切换过程中用户未能获取的内容,故 PBC 用户获取内容的时间成本 T_{c3} 最低、代理服务器获取内容的时间成本 T_{p3} 相对较低,且在 T_{c3} 与 T_{c2} 一致的场景下, PBC 的 T_{p3} 低于 SNC 的 T_{p2} 。

图6中, T_{wcn}/T_{wc0} 为“各方案内容获取的加权成本”与“现有 CCN 内容获取的加权成本”的比值。如图6所示: PBM 内容获取的加权成本 T_{wc1} 低于现有 CCN 内容获取的加权成本 T_{wc0} ; SNC 内容获取的加权成本 T_{wc2} , 在 $N=1, 2$ 时低于现有 CCN 内容获取的加权成本 T_{wc0} , 在 $N=3, 4$ 时高于现有 CCN 内容获取的加权成本 T_{wc0} ; PBC 内容获取的加权成本 T_{wc3} 与现有 CCN 内容获取加权成本 T_{wc0} 的比值,随着 c 与 b 比值的增大而减小;若 $c/b > 2.25$, SNC 内容获取的加权成本 T_{wc2} 最高, PBM 内容获取的加权成本 T_{wc3} 最低。

5 移动切换时延与内容获取的平均时间仿真测试

为测定各方案用户的移动切换时延与内容获取的平均时间,本文修改了以 NS-3 为基础的仿真软件 ndnSIM^[10,11],并搭建了如图7所示的仿真测试环境。

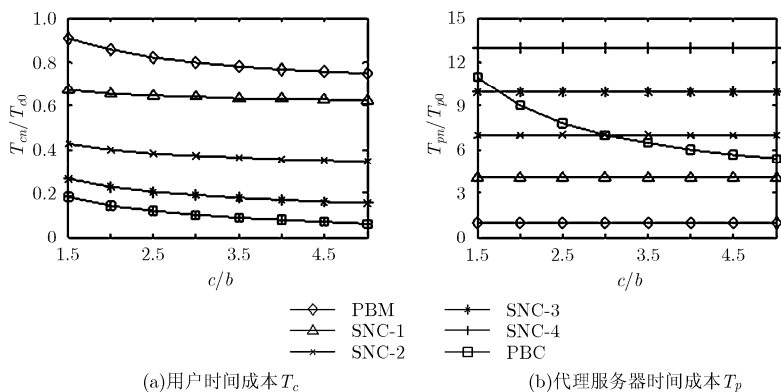


图 5 用户获取内容的时间成本 T_c 与代理服务器获取内容的时间成本 T_p

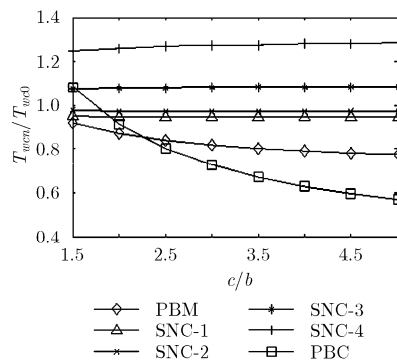


图 6 内容获取的加权成本 T_{wc}

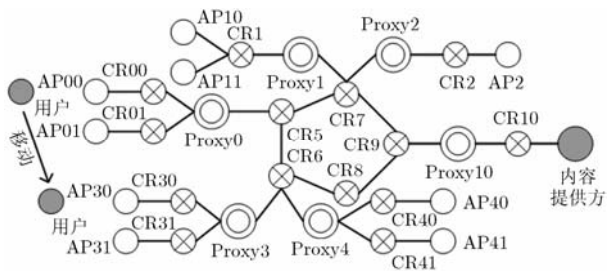


图 7 仿真测试环境

图 7 中,用户移动切换前通过 AP00 与 CCN 路由器 CR00 接入至代理服务器 Proxy0; 移动切换后通过 AP30 与 CCN 路由器 CR30 接入至代理服务器 Proxy3; 各节点间链路时延为 3 ms。设定普通请求消息的发送速率为 100 个/s, 用户移动切换后重传请求消息的速率为 400 个/s; 用户离开 AP00 的时间为 1 s, 接入 AP30 的时间为 1.1 s。此外, Proxy0, Proxy1, Proxy2, Proxy3, Proxy4 与 Proxy10, 在测定现有 CCN 用户的移动切换时延与内容获取的平均时间时为 CCN 路由器, 在测定 PBM 时为用户代理服务器, 在测定 SNC 与 PBC 时为代理服务器。参考文献[3]给出的部分参数, 测得上述各方案用户取回其移动切换过程中未能获取内容的内容序号与仿真测试时间的关系如图 8 所示。

若定义用户的移动切换时延 T_h 为用户移动切换后接收到的第 1 个数据消息的时间与用户移动切

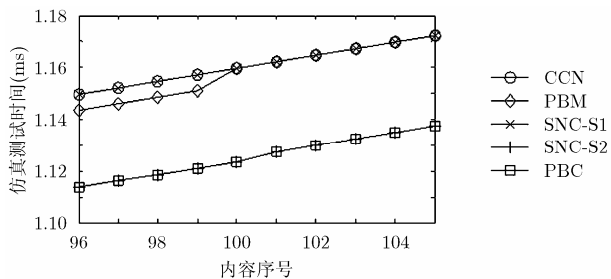


图 8 用户取回内容的内容序号与仿真测试时间的关系

换开始时间的差值, 内容获取的平均时间 T_a 为用户取回其移动切换过程中未能获取的内容的平均时间; 则依据图 8 得出各方案用户的 T_h 与 T_a 如表 1 所示。

表 1 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a

方案	CCN	PBM	SNC-S1	SNC-S2	PBC
T_h (ms)	149.7	143.7	149.7	113.6	113.6
T_a (ms)	49.7	47.3	49.7	14.3	14.3

表 1 中, 现有 CCN 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a 最长, 分别为 149.7 ms 与 49.7 ms。PBM 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a 略短, 分别为 143.7 ms 与 47.3 ms。SNC 分为两个不同的移动场景, 在用户移动至未被选择的邻居代理服务器的场景(SNC-S1)下, SNC 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a 和现有 CCN 一致; 在用户移动至被选择的邻居代理服务器的场景(SNC-S2)下, SNC 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a 和 PBC 一致。PBC 用户的移动切换时延 T_h 与内容获取的平均时间 T_a 最短, 分别为 113.6 ms 与 14.3 ms。

综上所述, 本文提出的基于代理的主动缓存方案(PBM)用户获取内容的时间成本、代理服务器获取内容的时间成本与内容获取的加权成本较低, 用户的移动切换时延与内容获取的平均时间较小。

6 结束语

本文针对现有 CCN 网络存在的用户移动性问题, 提出了一种基于代理的主动缓存方案。理论分析结论与仿真测试结果表明: 该方案既可有效利用 CCN 网络共享的内容资源, 降低用户获取内容的时间成本、代理服务器获取内容的时间成本与内容获取的加权成本, 又可减少用户的移动切换时延与内

容获取的平均时间, 提高用户对实时业务的服务体验。下一步工作将研究代理服务器的数量、位置、缓存资源与缓存策略对基于代理的主动缓存方案的影响。

参 考 文 献

- [1] Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, *et al.*. Networking named content[J]. *Communications of the ACM*, 2012, 55(1): 117-124.
- [2] Zhang L X, Estrin D, Burke J, *et al.*. Named Data Networking (NDN) project[R]. California: PARC, 2010.
- [3] Kim D H, Kim J H, Kim Y S, *et al.*. Mobility support in content centric networks[C]. Proceedings of the Second Edition of the ICN Workshop on Information-centric Networking, Helsinki, 2012: 13-18.
- [4] Lee J and Kim D. Proxy-assisted content sharing using Content Centric Networking (CCN) for resource-limited mobile consumer devices[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2011, 57(2): 477-483.
- [5] Lee J, Kim D, Jang M W, *et al.*. Proxy-based mobility management scheme in mobile Content Centric Networking (CCN) environments[C]. Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics, Chiang Mai, 2011: 595-596.
- [6] Vasilakos X, Siris V A, Polyzos G C, *et al.*. Proactive selective neighbor caching for enhancing mobility support in information-centric networks[C]. Proceedings of the Second Edition of the ICN workshop on Information-centric Networking, Helsinki, 2012: 61-66.
- [7] Lee J, Cho S, and Kim D. Device mobility management in Content-Centric Networking[J]. *Communications Magazine*, 2012, 50(12): 28-34.
- [8] Balachandran A, Voelker G M, Bahl P, *et al.*. Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN[C]. Proceedings of the 2002 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, Marina del Rey, 2002: 195-205.
- [9] Schwab D and Bunt R. Characterising the use of a campus wireless network[C]. Proceedings of the Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Hong Kong, 2004: 862-870.
- [10] Afanasyev A, Moiseenko I, Zhang L X, *et al.*. ndnSIM[OL]. <http://irl.cs.ucla.edu/ndnSIM.html>, 2012.
- [11] Afanasyev A, Moiseenko I, Zhang L X, *et al.*. ndnSIM: NDN simulator for NS-3[R]. California: PARC, 2012.

饶 迎: 女, 1988年生, 博士生, 研究方向为移动互联网、未来互联网体系结构。

高德云: 男, 1973年生, 博士, 教授, 研究方向为无线传感器网络、移动互联网、下一代网络体系结构。

罗洪斌: 男, 1977年生, 博士, 教授, 研究方向为通信网络技术、未来互联网体系结构、网络生存性。