

基于多接口的内容源移动性管理机制

任 飞, 秦雅娟*, 周华春, 徐雅琨

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 内容中心网络(content-centric networking, CCN)实现了基于内容的信息传输以及泛在网络缓存功能,但是,CCN中内容名字和位置的绑定使得其应用于移动网络时面临着基于内容名字的路由收敛问题,尤其是当内容源移动时.针对此问题,提出一种基于多接口的内容源移动性管理机制.在网络中部署多接口移动内容路由器,路由器通过内向和外向接口先后执行切换,使得中断间隔时延最小.通过数学建模分析切换性能,并进一步分析切换的中断间隔时间,研究影响切换时延的主要参数.实验结果表明,通过合理配置主要影响参数信道扫描频率及移动内容路由器间距,可以提高切换性能,实现无缝切换.

关键词: 内容中心网络;多接口;内容源移动;切换

中图分类号: TN915.07 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb201602008

0 引 言

移动性问题一直是伴随着互联网发展的一个长期挑战,从支持主机移动性的移动 IPv6 协议(Mobile IPv6, MIPv6)^[1]到支持网络移动性的代理移动 IPv6 协议(Proxy Mobile IPv6, PMIPv6)^[2],一些学者和研究机构不断提出各种解决主机或网络移动的关键性问题.内容中心网络(content-centric networking, CCN)^[3-4]作为未来网络的发展趋势,改变了传统互联网端-端的通信模式,请求者只需发布请求内容的名字,即可从缓存该内容的附近节点获取.兴趣包触发模式使得 CCN 固有地支持请求者的移动,内容请求者在移动后只需重新请求未收到的数据包即可继续执行通信过程.但是对于内容源的移动性来说则更复杂,考虑到 CCN 层次命名机制及为了便于路由收敛的目的,携带内容名字的内容源在移动之后需要根据物理位置重新生成内容名字,由于新的内容名字未能及时更新造成了通信中断并产生了较大的切换时延.因此,有效解决内容源的移动性问题成为研究 CCN 移动性的关键和挑战^[5-6].

CCN 有两种数据包类型,兴趣包(Interest)

和数据包(Data),每个内容实体有一个全球唯一的内容名字.请求者向网络中广播带有内容名字的 Interest 消息,享有该内容的内容源或缓存该内容的中间路由器以 Data 消息的形式返回所请求的内容.当请求者在通信过程中发生移动,请求者可以重播 Interest 消息请求未收到的数据包.但层次命名需要考虑路由收敛,内容源在执行切换之后,内容名字需要根据拓扑位置改变.由于路由更新会带来较大的时延,在内容源移动场景下,如何减小和避免切换时延,实现无缝切换是研究 CCN 移动性问题的巨大挑战.目前已提出一些针对 CCN 内容源移动的解决方案^[7-9], Hermans 等^[7]提出间接切换机制,由网络中的一台服务器管理内容名字的原前缀和目标前缀的绑定关系,接收切换过程中发送的数据包并进行前缀替换,采用隧道的方式发往内容源的新位置.文献[8]部署了一个 DNS 服务器解决内容源的移动,基于 DNS 的服务器维护了内容源的位置和内容名字间的绑定关系,内容名字的变化以及内容的查找都需要向 DNS 更新和请求.文献[9]中由部署的服务器负责在家乡域和外地域之间传输数据包,数据包到达服务器需要进行封装和解封装,通过

收稿日期: 2016-01-21; 修回日期: 2016-03-02.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271201, 61271202, 61232017, 61471029).

作者简介: 任 飞(1986-),女,博士生, E-mail: renfei@bjtu.edu.cn; 秦雅娟*(1963-),女,博士,教授, E-mail: yjqin@bjtu.edu.cn; 周华春(1965-),男,博士,教授, E-mail: hchzhou@bjtu.edu.cn; 徐雅琨(1988-),女,博士生, E-mail: 11111015@bjtu.edu.cn.

隧道进行传输。

以上现有的解决 CCN 内容源移动的方案都是采用部署第三方服务器的方式,通过第三方服务器来管理内容名字之间、内容名字-位置之间以及位置-位置间的绑定关系.这种方式虽然保证了内容源的位置可达性,但是引入的控制信令和流量数据给第三方服务器带来了较大的负担.其次,所有数据包都必须经由第三方服务器到达目的端,其非优化路径违背了 CCN 设计的理念,同时浪费了网络资源.第三,单节点故障不可避免,无缝切换性能得不到保证,一旦第三方服务器发生故障会造成通信的永久中断.

本文提出一种基于多接口的内容源移动性管理方案,通过在网络中部署两台或多台移动内容路由器(mobile content router, MCR)为所在域的移动节点提供切换支持.除此之外,还提出一种切换模型,通过改变相关的参数分析其在切换过程中对数据包转发性能的影响.

1 多接口内容源移动性方案

在 CCN 中,请求者移动后仅需重播未收到的数据包.对于内容源的移动,为了便于路由收敛,内容源在移动到新的物理位置后,内容名字需要根据拓扑位置而改变.因此,本文仅针对内容源移动的场景展开研究,通过移动内容路由器的两个接口交替负责移动过程中的切换执行和数据传输.因此,内容源在移动过程中无需改变内容名字,即可达到切换的目的,请求者移动场景同样适用于该方案.

本文部署的 MCR 中,每台 MCR 部署两种类型的接口:内向接口和外向接口,内向接口负责与所在域的移动节点相连,外向接口负责执行切换.基于多接口的内容源移动性管理方案可以有效控制 MCR 执行切换的时间,从而缩短切换间隔时间(即节点切换过程中没有执行数据包交互的中断时延).

在基于多接口的内容源移动性管理方案中, MCR 定位在不同的位置,当内容源发生移动时 MCR 可以在不同时间执行切换,此时传输到执行切换的 MCR 处的数据流通过未执行切换的 MCR 接收.如果 MCRs 都在进行切换,没有未执行切换的 MCRs 接收数据包,则数据包被临时缓存在 MCR 上,带来了切换时延,称这个阶段为中断间隔,迫使数据包被缓存或丢弃,造成切换时延增加或丢包问题.因此,中断间隔越小或者为零,

则意味着可以实现无缝切换.令先执行切换的 MCR 为 MCR1,后执行切换的为 MCR2,由以上可知,MCR1 越早执行切换且 MCR2 越晚执行切换,产生的中断间隔越小.为了避免无效且频繁的信道扫描带来额外开销,当且仅当 MCR1 进入接入点(access point, AP)的边界域时通过定期的信道扫描预测是否执行切换,当 MCR1 扫描到新的 ACR 域时立即执行切换.相反,对于 MCR2 则要求扫描的信道频率覆盖信号低于某一阈值时执行切换,以延长 MCR2 的切换执行时间.本文假设 MCR 能够主动检测信道及 AP 信息,且先执行切换的 MCR 只要检测到新的 AP 即执行切换,而后执行切换的 MCR 则需要接入信号强度即将达到阈值时执行切换,该阈值如何设置不在本文考虑范围内.

基于多接口的内容源移动方案如图 1 所示,该方案适用于多个内容源和多个移动内容路由器构成的移动域场景.为方便起见,本文以一个内容源和两个移动内容路由器构成的移动域进行分析,且内容源和移动内容路由器都具有多个接口.其切换步骤如下:

(1)内容源(content source, CS)和 MCR1、MCR2 构成一个移动域,CS 的接口 IF_{CS}^1 接入 MCR1 的内向接口 $IF_{MCR1}^{ingress}$,CS 的接口 IF_{CS}^2 与 MCR2 的内向接口 $IF_{MCR2}^{ingress}$ 相连,MCR1 和 MCR2 的外向接口 IF_{MCR1}^{egress} 和 IF_{MCR2}^{egress} AP 连入内容接入路由器(access content router, ACR)ACR1 所在域.

(2)当 CS 移动到 ACR2 域,MCR1 检测到 ACR2 的 AP 信号,MCR1 准备执行切换.此时,通信节点(correspondent node, CN)正在同 CS 进行通信,为了保证通信不中断,MCR2 仍同 ACR1

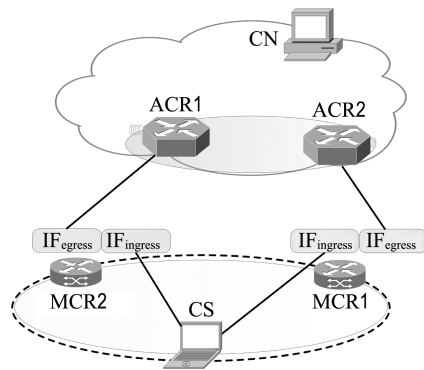


图 1 基于多接口的内容源移动方案
Fig. 1 Multiple interfaces-based content source mobility scheme

保持连接以发送/接收数据包。

在以下两种情况时 MCR2 执行切换：(a) MCR1 完成同 ACR2 的连接，并代替 CS 完成新内容名字的配置；(b) ACR1 覆盖信号达到阈值，MCR2 则将 CS 发送的数据包缓存在本地，待 MCR1 完成(a)过程后执行切换，再将数据包传给 CS。

(3) MCR1 切换完成后，MCR2 开始切换。当两个 MCR 同时接入一个 ACR 时，先完成切换的 MCR 处于预切换状态，等待下次切换到来。

2 分析模型

本章给出基于多接口的内容源移动模型，通过模型分析切换影响因素。由上文分析可知，切换性能受中断间隔时间的影响，因此首先描述切换场景，并详细阐述影响切换时延的各项参数。其次，得出中断间隔时间的概率密度函数，解释提出的数学假设。

2.1 切换场景

本文的内容源切换场景如图 2 所示，由两个接入域 ACR1 和 ACR2 组成，每个 ACR 域配置了两个 AP 且 AP2 和 AP3 属于边界 AP，由边界 AP 共同覆盖的区域为重叠覆盖域。移动域包含了两个 MCR 和一个 CS，CS 从 ACR1 域的 AP2 移动到 ACR2 域的 AP3。ACR 同 AP 共同组成接入域，负责为移动节点提供接入功能，CS 从一个 ACR 域切换到另一个 ACR 域即为一次切换。

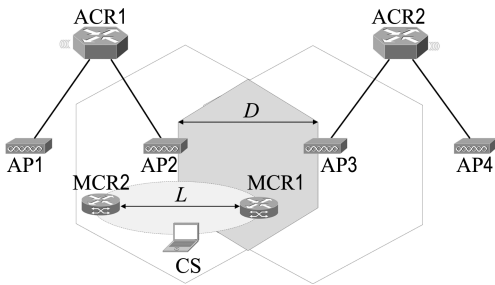


图 2 内容源切换场景

Fig. 2 Handoff scenario of content source

2.2 移动切换

当内容源从 ACR1 域移动到 ACR2 域，MCR2 在 MCR1 切换完成之后执行切换，这个过程仅存在数据传输时延，可以被忽略。然而，当 MCR2 即将执行切换但 MCR1 没有完成切换时，MCR2 需要缓存接收的数据包，缓存时间造成了切换时延的增加。因此，需要着重分析 MCR1 完

成切换且 MCR2 开始切换的时间。假设当 MCR1 进入 AP3 重叠覆盖域的时间为 0，MCR1 完成切换的时间即为 MCR1 从 ACR2 域接收数据包的时间，记 MCR1 切换时间为 T_{MCR1} ，可以得到

$$T_{MCR1} = T_{AP} + T_{L2} + T_{RA} + T_{other} \quad (1)$$

式中： T_{AP} 为 MCR 执行 AP 检测的时间，依赖于 MCR 的扫描频率，该文假设扫描频率为 n 次/s，则 T_{AP} 服从 $[0, 1/n]$ 的均匀分布。 T_{L2} 为 L2 层切换时间。 T_{RA} 为 MCR 接入到新的 ACR 收到路由通告(router advertisement, RA)所需时间，CS 根据路由通告的前缀信息生成基于拓扑信息的内容名字。 T_{other} 包括重复内容名字检测以及 MCR 与 CS 及 ACR 间的信令交互所需时间。

2.3 切换时延的概率密度函数

路由通告消息定期发送以通告路由器有效，MCR 也可以主动向 ACR 发送路由请求， T_{RA} 限定范围在最大(最小)重传确认间隔之间。根据 MCR 接收请求 RA 消息的形式，可以得到 $T_{RA} = [W, U]_{\min}$ ， W 表示 L2 层切换建立到接收到从 RA 缺省通告列表中得到 RA 消息的时间间隔； U 表示 L2 层切换建立到接收到第一个非请求 RA 消息的时间间隔，计算得到 W 和 U 的分布函数为^[10]

$$T_W(w) = \begin{cases} 0; & w \leq 2t_{MA} \\ \frac{w - 2t_{MA}}{I_o}; & 2t_{MA} < w < I_o + 2t_{MA} \\ 1; & w \geq I_o + 2t_{MA} \end{cases} \quad (2)$$

$$T_U(u) = \begin{cases} \frac{2(u - t_{MA})}{I_{\max} + I_{\min}}; & 0 < u - t_{MA} \leq I_{\min} \\ \frac{2I_{\max}(u - t_{MA}) - (u - t_{MA})^2 - I_{\min}^2}{I_{\max}^2 - I_{\min}^2}; & I_{\min} < u - t_{MA} < I_{\max} \\ 1; & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中 I_o 为前 MCR1 所接入的前一个 ACR 的最大重传确认间隔， $I_{\max}$ ($I_{\min}$) 为 MCR1 接入的新 ACR 的最大(最小)重传确认间隔， t_{MA} 为 MCR 和 ACR 间信令传输时延。由式(2)和(3)可得 T_{RA} 的概率密度函数为

$$(1) \text{ 当 } 2t_{MA} \leq t_{RA} < I_{\min} + t_{MA},$$

$$f_{T_{RA}}(t_{RA}) = \frac{dF_{T_{RA}}}{dT_{RA}} = \frac{6t_{MA} + 2I_o + I_{\min} - 4t_{RA}}{I_o(I_{\max} + I_{\min})} \quad (4)$$

$$(2) \text{ 当 } I_{\min} + t_{MA} \leq t_{RA} \leq I_{\max} + t_{MA},$$

$$f_{T_{RA}}(t_{RA}) = \frac{(5t_{MA} + I_{\max} + 2I_o)(t_{MA} + I_{\min})}{I_o(I_{\max}^2 - I_{\min}^2)} - \frac{2t_{RA}(2I_o + 2(2t_{MA} + I_{\max})) - 3t_{RA}^3}{I_o(I_{\max}^2 - I_{\min}^2)} \quad (5)$$

(3)其他,

$$f_{T_{RA}}(t_{RA})=0 \quad (6)$$

因为 T_{AP} 服从 $[0, 1/n]$ 的均匀分布, 则有

$$f_{T_{AP}}(t_{AP}) = \begin{cases} n; & 0 \leq t_{AP} \leq 1/n \\ 0; & \text{其他} \end{cases}.$$

由式(1)得出, MCR1 的切换时延可以看作由固定时延($T_{CON} = T_{L2} + T_{other}$)和随机时延($T_{ran} = T_{AP} + T_{RA}$)两部分组成. 为了得到 MCR1 切换时延的概率密度函数, 需要计算 MCR1 在 AP 接入检测和 RA 路由通告过程中的随机时延, 令 T 代表总的时延, 则 T 的概率密度函数可以表示为

$$f_T(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{T_{AP}}(t_{AP}) f_{T_{RA}}(t - t_{RA}) dt_{AP} \quad (7)$$

本文参考 RFC2461 中接入路由器的配置情况, 则有 $\frac{1}{n} \leq I_{min} \leq I_{max}$, 结合式(7)可以分为以下几个过程分别求解.

(1) 当 $2t_{MA} \leq t_{M1} < \frac{1}{n} + 2t_{MA}$,

$$f_{MCR}(t_{M1}) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{T_{AP}}(t_{AP}) f_{T_{RA}}(t_{RA}) dt_{AP} = \int_0^{t-2t_{MA}} \{n[6t_{MA} + 2I_o + I_{min} - 4(t - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} \quad (8)$$

(2) 当 $\frac{1}{n} + 2t_{MA} \leq t_{M1} < I_{min} + t_{MA}$,

$$f_{MCR}(t_{M1}) = \int_0^{1/n} \{n[6t_{MA} + 2I_o + I_{min} - 4(t_{M1} - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} \quad (9)$$

(3) 当 $I_{min} + t_{MA} \leq t_{M1} < I_{min} + t_{MA} + 1/n$,

$$f_{MCR}(t_{M1}) = \int_{t-I_{min}-t_{MA}}^{1/n} \{n[6t_{MA} + 2I_o + I_{min} - 4(t_{M1} - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_0^{t-I_{min}-t_{MA}} \{n(t_{MA} + I_{max})(2I_o + 5t_{MA} + I_{max})/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_0^{t-I_{min}-t_{MA}} \{n[-(2I_o + 4t_{MA} + 4I_{max}) \cdot (t_{M1} - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_0^{t-I_{min}-t_{MA}} \{n[3(t_{M1} - t_{AP})^2]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} \quad (10)$$

(4) 当 $I_{min} + t_{MA} + 1/n \leq t_{M1} < I_{max} + t_{MA}$,

$$f_{MCR}(t_{M1}) = \int_0^{1/n} \{n(t_{MA} + I_{max})(2I_o + 5t_{MA} + I_{max})/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_0^{1/n} \{n[-(2I_o + 4t_{MA} + 4I_{max})(t_{M1} - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_0^{1/n} \{n[3(t_{M1} - t_{AP})^2]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} \quad (11)$$

(5) 当 $I_{max} + t_{MA} \leq t_{M1} \leq I_{max} + t_{MA} + 1/n$,

$$f_{MCR}(t_{M1}) = \int_{t-I_{max}-t_{MA}}^{1/n} \{n(t_{MA} + I_{max})(2I_o + 5t_{MA} + I_{max})/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_{t-I_{max}-t_{MA}}^{1/n} \{n[-(2I_o + 4t_{MA} + 4I_{max}) \cdot (t_{M1} - t_{AP})]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} + \int_{t-I_{max}-t_{MA}}^{1/n} \{n[3(t_{M1} - t_{AP})^2]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{AP} \quad (12)$$

2.4 中断间隔的概率密度函数

本节分析中断间隔的概率密度函数, 如图 2 所示, 假设 AP 信号覆盖区域为规则六边形, AP2 和 AP3 的重叠覆盖区直线跨度为 D , MCR1 与 MCR2 间的距离为 L . MCR1 进入 AP 重叠覆盖区域的时间起点为 0, 则 MCR2 执行切换过程的时间 $T_{MCR2} = (D+L)/v$, v 为内容源移动速度. 如 2.2 节所述, 当 MCR1 完成切换后 MCR2 开始执行切换, 没有中断间隔时延产生; 当 MCR2 在 MCR1 切换过程中执行切换, 则产生中断间隔时延, 即 $T_{itr} = T_{MCR1} - T_{MCR2} = t_{M1} + T_{CON} - (D+L)/v$, 由于第二项和第三项可记作常量, 为方便计算令 $k = T_{CON} - (D+L)/v$, 结合式(5)给出中断间隔时延 t_{itr} 小于定值 t 的分布函数为

(1) 当 $t < 2t_{MA} + k$,

$$P_{itr}(t_{itr} < t) = 1 \quad (13)$$

(2) 当 $2t_{MA} + k \leq t < 2t_{MA} + k + 1/n$,

$$P_{itr}(t_{itr} < t) = \int_{2t_{MA}+k}^t \{n[-2(t_{itr} - k)^2]/I_o(I_{max} + I_{min})\} dt_{itr} + \int_{2t_{MA}+k}^t \{n(2I_o + I_{max} + I_{min} + 6t_{MA}) \cdot$$

$$(t_{\text{itr}} - k) / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k}^t \{ n[-2t_{\text{MA}}(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 2t_{\text{MA}})] / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} \quad (14)$$

(3) 当 $2t_{\text{MA}} + k + 1/n \leq t < t_{\text{MA}} + k + I_{\text{min}}$,

$$P_{\text{itr}}(t_{\text{itr}} < t) = \int_{2t_{\text{MA}}+k}^{2t_{\text{MA}}+k+1/n} \{ n[-2(t_{\text{itr}} - k)^2] / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k+1/n}^{2t_{\text{MA}}+k} \{ n(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 6t_{\text{MA}})(t_{\text{itr}} - k) / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k+1/n}^{2t_{\text{MA}}+k} \{ n[-2t_{\text{MA}}(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 2t_{\text{MA}})] / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k+1/n}^t \{ [n(6t_{\text{MA}} + 2I_o + I_{\text{min}} + I_{\text{max}} + 4(t_{\text{itr}} - k)) + 2] / nI_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} \quad (15)$$

(4) 当 $t_{\text{MA}} + k + I_{\text{min}} \leq t < t_{\text{MA}} + k + I_{\text{min}} + 1/n$,

$$P_{\text{itr}}(t_{\text{itr}} < t) = \int_{2t_{\text{MA}}+k+1/n}^{t_{\text{MA}}+k+I_{\text{min}}} \{ [n(6t_{\text{MA}} + 2I_o + I_{\text{min}} + I_{\text{max}} + 4(t_{\text{itr}} - k)) + 2] / nI_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k}^t \{ n[-2(t_{\text{itr}} - k)^2] / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k}^{t_{\text{MA}}+k+I_{\text{min}}} \{ n(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 6t_{\text{MA}})(t_{\text{itr}} - k) / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{2t_{\text{MA}}+k}^t \{ n[-2t_{\text{MA}}(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 2t_{\text{MA}})] / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ 2n[(t_{\text{itr}} - k)^2 + 4] \cdot (t_{\text{itr}} - k) / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ -[2n(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 6t_{\text{MA}})](t_{\text{itr}} - k) /$$

$$I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ [(n - I_o - 4t_{\text{MA}} - 2I_{\text{max}})(t_{\text{itr}} - k)^2 / I_o(I_{\text{max}}^2 - I_{\text{min}}^2)] + A + B \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ n(t_{\text{MA}} + I_{\text{max}})(2I_o + 5t_{\text{MA}} + I_{\text{max}})(t_{\text{itr}} - k) / I_o(I_{\text{max}}^2 - I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} \quad (16)$$

(5) 当 $t_{\text{MA}} + k + I_{\text{min}} + 1/n \leq t \leq t_{\text{MA}} + k + I_{\text{max}}$,

$$P_{\text{itr}}(t_{\text{itr}} < t) = \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ 3(t_{\text{itr}} - k)^2 / I_o(I_{\text{max}}^2 + I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ (k - t_{\text{itr}})(n(2I_o + 8t_{\text{MA}} + 4I_{\text{max}}) + 3) / nI_o(I_{\text{max}}^2 + I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ (t_{\text{MA}} + I_{\text{max}}) \cdot (2I_o + 5t_{\text{MA}} + I_{\text{max}}) / I_o(I_{\text{max}}^2 + I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^t \{ (I_o + 4t_{\text{MA}} + 2I_{\text{max}}) / nI_o(I_{\text{max}}^2 + I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^{t_{\text{MA}}+k+I_{\text{min}}} \{ n(t_{\text{itr}} - k)^3 / I_o(I_{\text{max}}^2 - I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + D + C + E + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^{t_{\text{MA}}+k+I_{\text{min}}} \{ (k - t_{\text{itr}})(t_{\text{MA}} + I_{\text{max}})(2I_o + 5t_{\text{MA}} + I_{\text{max}}) / I_o(I_{\text{max}}^2 - I_{\text{min}}^2) \} dt_{\text{itr}} + \int_{t_{\text{MA}}+1/n+k+I_{\text{min}}}^{t_{\text{MA}}+k+I_{\text{min}}} \{ -[2n(t_{\text{itr}} - k)^2 / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) + nB] \} dt_{\text{itr}} \quad (17)$$

(6) 当 $t > t_{\text{MA}} + k + I_{\text{max}}$,

$$P_{\text{itr}}(t_{\text{itr}} < t) = 1 \quad (18)$$

其中

$$A = (nI_{\text{min}} + nt_{\text{MA}} + 1)(2I_o + I_{\text{max}} + I_{\text{min}} + 6t_{\text{MA}}) / I_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}}) - 4(n^2 I_{\text{min}}^2 + 2n^2 I_{\text{min}} t_{\text{MA}} + n^2 t_{\text{MA}}^2 - 1) / 2nI_o(I_{\text{max}} + I_{\text{min}})$$

$$B=(I_o+t_{MA}-I_{max}+1)(I_{max}+t_{MA})^2/I_o(I_{max}^2-I_{min}^2)$$
$$C=\int_{2t_{MA}+k+1/n}^{t_{MA}+k+I_{min}}\{[n(6t_{MA}+2I_o+I_{min}+I_{max})+2]/nI_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}+\int_{2t_{MA}+k+1/n}^{t_{MA}+k+I_{min}}\{4(t_{itr}-k)/I_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}$$
$$D=\int_{2t_{MA}+k}^{2t_{MA}+k+1/n}\{n[-2(t_{itr}-k)^2]/I_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}+\int_{2t_{MA}+k}^{2t_{MA}+k+1/n}\{n(2I_o+I_{max}+I_{min}+6t_{MA})(t_{itr}-k)/I_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}+\int_{2t_{MA}+k}^{2t_{MA}+k+1/n}\{n[-2t_{MA}(2I_o+I_{max}+I_{min}+2t_{MA})]/I_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}$$
$$E=\int_{t_{MA}+k+I_{min}}^{t_{MA}+k+I_{min}+1/n}[4n(t_{itr}-k)^2/2I_o(I_{max}+I_{min})+A]dt_{itr}+\int_{t_{MA}+k+I_{min}}^{t_{MA}+k+I_{min}+1/n}\{-2n(2I_o+I_{max}+I_{min}+6t_{MA})(t_{itr}-k)/2I_o(I_{max}+I_{min})\}dt_{itr}$$

3 性能分析

本文通过信道扫描频率(n)及同移动域内 MCR 间距(L)两项参数,分析其对基于多接口的内容源移动性方案的性能影响,参数及取值范围见表 1.

表 1 参数及取值范围
Tab.1 Parameters and values

参数	取值范围
n	0~20 次/s
t_{MA}	10~100 ms
$t_{1,2}$	200~500 ms
I_{max}	10~20 s
I_{min}	3 s
D	任意
L	0~150 m
v	0~80 m/s
I_o	10~15 s

令 $t_{MA}=10\text{ ms}$, $I_{min}=3\text{ s}$, $I_o=I_{max}=15\text{ s}$, $T_{CON}=1.0\text{ s}$, $v=10\text{ m/s}$, $L=10\text{ m}$, $D=150\text{ m}$. 分别在中断间隔时间小于定值 0.5 s 和 1.0 s 两种情况下分析信道扫描频率对切换性能的影响.

从图 3 可以看出,中断间隔时间小于定值 (0.5 s 和 1.0 s) 下的概率随着信道扫描频率的增加而增加,但是扫描频率增加率减小. 这是因为扫描频率越大, MCR1 执行切换越快,检测 AP 所用的时间减小. 当扫描频率大于 5 次/s 时,对中断间隔概率密度影响不大. 因此,将扫描频率控制在 6 次/s 内可以有效减小中断间隔时间.

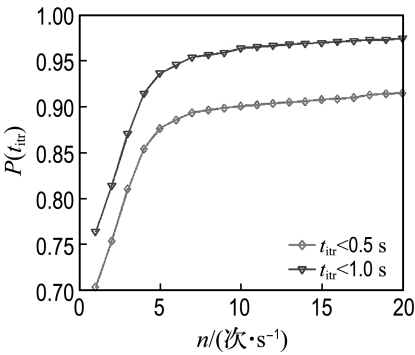


图 3 信道扫描频率对切换性能的影响
Fig.3 Effects of channel scanning frequency on handoff performance

MCR 间距对中断间隔概率影响如图 4 所示,可以看出中断间隔概率随着 MCR 间距增大而增加. 这是因为 MCR 间距增大,则 MCR 执行切换的时间间隔越大,才能保证 MCR1 较早执行切换而 MCR2 较晚切换,从而使得切换时延最小. 由图 4 还可以看出,中断间隔小于定值 (0.5 s 和 1.0 s) 的两种情况都较好地体现了所述机制的性能.

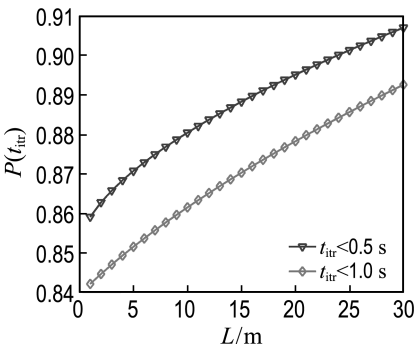


图 4 MCRs 间距对切换性能的影响
Fig.4 Effects of the distance of MCRs on handoff performance

4 结 语

本文针对内容中心网络提出了一种解决内容源移动场景下的切换方案. 通过部署基于多个接口的移动内容路由器, 保障了切换过程中的数据传输. 移动内容路由器交替执行切换, 且先执行切换的路由器越早切换越好, 后执行切换的路由器越晚切换越好, 将中断切换间隔降到最低以实现无缝切换. 设计了基于多接口的内容源移动模型, 该模型适用于单路由器-多接口、多路由器-单接口以及多路由器-多接口等混杂模型. 通过性能分析发现, 信道扫描频率以及移动内容路由器间距是影响切换性能的主要因素, 合理设置参数可以提高切换性能, 在接下来的工作中将继续研究其他参数对切换性能的影响, 并对方案进行改进, 提高通信质量.

参考文献:

- [1] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility support in IPv6: IETF RFC 3775 [S]. California: IETF, 2004.
- [2] Gundavelli S, Leung K, Devarapalli V, *et al.* Proxy mobile IPv6: IETF RFC 5213 [S]. California: IETF, 2008.
- [3] JIANG Xiao-ke, BI Jun, WANG You. What benefits does NDN have in supporting mobility [C] // *Proceedings of 2014 IEEE Symposium on Computers and Communication*. Funchal: IEEE,

2014:1-6.

- [4] Vasilakos A V, Li Z, Simon G, *et al.* Information centric network: research challenges and opportunities [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2015, **52**:1-10.
- [5] Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, *et al.* Networking named content [C] // *Proceedings of the 2009 ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*. New York: ACM, 2009:1-12.
- [6] Kurose J. Information-centric networking: the evolution from circuits to packets to content [J]. *Computer Networks*, 2014, **66**:112-120.
- [7] Hermans F, Ngai E, Gunningberg P. Mobile source in an information-centric network with hierarchical names: An indirection approach [C] // *Proceedings of SNCNW 2011*. Sweden: IEEE, 2011: 60-64.
- [8] Zhu Z, Afanasyev A, Zhang L. A new perspective on mobility support: NDN, Technical Report NDN-0013 [R/OL]. (2013-01-01). <http://named-data.net/techreports.html>.
- [9] Lee J, Cho S, Kim D. Device mobility management in content-centric networking [J]. *IEEE Communication Magazine*, 2012, **50**(12):28-34.
- [10] Han Y H, Choi J H, Hwang S H. Reactive handover optimization in IPv6-based mobile networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2006, **24**(9):1758-1772.

Multiple interfaces-based content source mobility management scheme

REN Fei, QIN Ya-juan*, ZHOU Hua-chun, XU Ya-kun

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

Abstract: Content-centric networking (CCN) realizes the information delivery based on the content and in network caching universally. However, it also faces the problem of routing convergence based on the content name, which is due to the binding of content name and physical location, especially in the case of content source moving. Aiming at the problems of content source moving in CCN, the multiple interfaces-based content source mobility management scheme is proposed. The multiple interfaces-based mobility content routers are employed in the network, and these routers perform the handoff by the egress and ingress interfaces sequentially to reduce the interruption interval. The handoff performance and interruption interval are studied by the mathematical model, and the impact of critical parameters is deeply analyzed. The experimental results reveal that this proposition can improve the handoff performance and realize seamless handoff if the main parameters as channel scan frequency and distance of mobile content routers are correctly chosen.

Key words: content-centric networking; multiple interfaces; content source mobility; handoff