

协议无感知转发环境下的内容传输策略研究

夏 莹,王 雷,侯方杰

(中国科学技术大学 自动化系,安徽 合肥 230027)

摘 要: CCN(内容中心网络)为最受关注的下一代网络架构,CCN 的网内缓存能够确保内容的高效获取,并提高重传效率.基于 POF(协议无感知转发)实现了网络层的内容路由与缓存,对 pull 传输机制提出可靠性改进,同时基于网络节点信息和丢包率来决定缓存时间,构建 CCN 网络的差异化缓存机制,实现内容的有序缓存.仿真结果表明提出的策略可以提高内容分发性能.

关键词: 协议无感知转发;内容中心网络;可靠传输;协作缓存

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)12-0104-04

Content Delivery of Protocol-Oblivious Forwarding

XIA Ying, WANG Lei, HOU Fang-jie

(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: CCN (Content-Centric Network) have been gradually considered as the next network architecture. In face of the lack of end to end session, the design of a reliable delivery mechanism becomes very important. In POF (Protocol-Oblivious Forwarding), this paper proposes an improved strategy for reliability, including different time that the requested content will be cached in different nodes, which is based on the network node information and packet loss rate. The proposed strategy is evaluated by simulation experiments. The experiments results show that the strategy can improve the performance of content delivery.

Key words: POF; CCN; Reliable delivery; Cooperative Caching

1 引言

随着互联网技术的发展,用户对数据内容的需求急剧增长,传统互联网所承担的内容分发压力越来越大,基于“以 IP 地址为中心”的主机到主机通信模式的传统网络体系结构已难以满足当前 Internet 的发展要求.CCN(内容中心网络)逐渐被认为是很有前景的下一代网络架构,而 POF 的出现更是引起了广泛关注.

随着网络中内容的大量增长,内容传输机制成为不可或缺的重要角色.CCN 中缺乏端到端的会话,可靠传输在内容传输中被认为是很大的挑战,而拥有有效的缓存策略能够确保内容的有效获取,提高重传效率.在 POF 环境下,本文对 pull 传输机制

提出可靠性改进,同时基于网络节点信息和丢包率来确定缓存时间,构建 CCN 网络的差异化缓存机制,实现内容的有序缓存,提高网络传输性能.

2 可靠传输机制

2.1 协议无感知转发环境下的内容传输机制

首先简单介绍环境架构 POF-CCN^[9],利用此系统架构进行内容传输可靠性能的研究.通过对现有 CCN 基于 pull 的传输机制进行改进,使得当链路存在丢包的情况下也可以保证内容传输的可靠性.

节点发出兴趣包,交换机将其转发给核心节点,核心节点会根据兴趣包的内容名查找 Index/CS,如果缓存中存在对应的内容,就直接返回数据,并丢弃

该兴趣包. 如果 Index/CS 检索不到,则查找 PIT,如果 PIT 中有该内容名条目,就把记录的源栈内容加入到对应表项 face 中;如果检索不到,就建立 PIT 新项,再查 FIB^[3-5]. 如果在 FIB 中找到,将 FIB 对应表项的端口号压入兴趣包目的栈,然后发送出去. 当节点接收到兴趣包请求时,便提取兴趣包中的源栈,构造数据包并反向返回;交换机根据源栈存放的端口将数据传输到内容请求节点,核心节点收到交换机发来的副本后会更新 FIB 表,并根据指定的缓存策略决定是否缓存该数据以及缓存多久,同时,核心节点还会查询 PIT,如果有对应的匹配项就接收,并按照端口栈将数据发送给相应的请求者,同时删除对应的 PIT 表项;如果 PIT 没有匹配项则丢弃该数据包. POF-CCN 传输系统架构如图 1 所示.

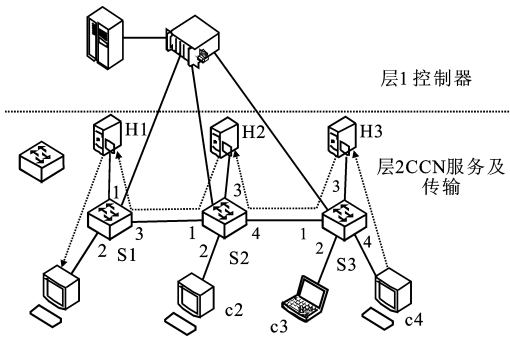


图 1 POF-CCN 传输系统架构

2.2 可靠传输机制

本文提出的机制是对现有基于 pull 的内容传输机制进行修改与增强,可靠传输处理流程如图 2 所示. 数据发送端接收到兴趣包请求时,开始读取所要获取的文件,按照(MTU—包头字节)为单位开始读取(本文取 MTU 为 1 450),每读取该长度一次,则 CCN 序号(Seq)加 1,这为大文件分包传输奠定了基础并且便于重传的实现. 数据接收端增加一个数据接收表(Data Reserve Table,DRT)用来保存接收到的数据包,初始默认值为 0,按照 Seq 排序,当接收到相应数据包时就把其对应的表项设置为 1,定时对数组进行循环查询,如果存在 0 的情况则重传,若没有则表明内容传输完整.

CCN 包含两种包格式:兴趣包和数据包. 为了实现可靠传输模型,对于包格式进行修改,增加一个标识域 nack 用来区分普通数据包与重传数据包(普通兴趣包默认为 0,重传时将其修改为 1). 为了辨识内容传输结束的时间,CCN 传输标识域 flag 默认为 1,当循环查询 DRT 中遇到存在 0 的情况下设置为 0;当数据全部接收,即 flag 为 1,再加上 DRT 中为

1 的长度等于内容总长度(包含在 Seq 中)时,标志着重传完成,保证了内容传输的可靠性.

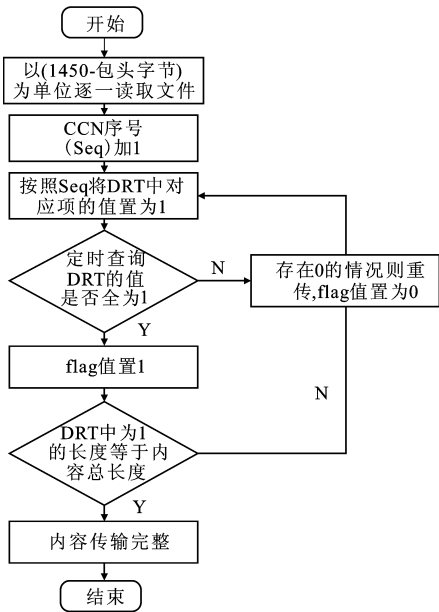


图 2 可靠传输处理流程

3 协作缓存策略

本文基于节点空闲缓存大小 k 、访问频率 f 、丢包率 p 、至请求节点的距离 d 等信息来确定内容在节点存在的时间,即缓存时间,实现差异化缓存. 空闲缓存大小如果为零,那么该节点就没有缓存的可能,缓存时间设置为 0 即可. 丢包率可以用来预测网络的拥塞情况,如果丢包率较大,那么内容缓存的时间应该设置较长,以保证重传时可以就近获取请求的内容. 因为缓存可能在丢包率检测到时已经完成,故两者应该是并列关系,丢包率未检测到时默认为 0. 当 client 向服务器端请求内容 o 时,沿途各节点将信息(空闲缓存大小 $k(o)$ 、访问频率 $f(o)$ 、丢包率 $p(o)$ 、距离 $d(i,o)$ 等)携带至服务器. 服务器根据这些信息计算出缓存时间策略 CTS(caching time strategy),指明哪些节点需要缓存内容 o 以及缓存多久. 这个计算结果随着数据包返回给各个节点,各节点据此管理自己的缓存. 各个节点根据 CTS 也能知道沿途哪些节点缓存内容以及缓存多久,以帮助后到的 Interest 就近找到内容 o ,从而实现有序的内容发现.

3.1 缓存功能模块

在实现丢包监测和重传处理的基础上,还需要考虑缓存策略的命中率与获取效率,这就需要对缓存策略进行修改,其缓存功能模块如表 1~3 所示.

表 1 CS 模块

Object	Cache start	Cache time
内容名称	缓存起始时间	各节点缓存内容的时间

表 2 PIT 模块

Object	Face	Hops	Count1	Count2	Timer
内容名称	Interest 包的来源接口	距离 client 的跳数	PIT 增加速率	PIT 消除速率	清零时间

表 3 FIB 模块

Object	Hops	Next	Count	Cache time
内容名称	本节点到目标内容的跳数	下一跳	interest 访问该节点的次数	目标内容所在节点的缓存时间

3.2 丢包率检测

丢包事件是表征拥塞发生的信号,其大小与网络性能有着密切的关系,丢包率的估计对预测网络的拥塞状况、了解网络性能都有着重要意义.如果丢包率较大,那么内容缓存的时间应该设置较长,以保证重传时可以就近获取请求的内容.CCN 网络中,PIT(pending interest table)的作用是存储已发送的数据请求或这些请求各自的到达接口.PIT 不仅记录转发的兴趣包,也记录收到兴趣包的接口.转发兴趣包则创建新条目,而删除条目发生在收到数据包后.基于此,本文提出一个较为简单的 CCN 网络丢包率检测方法.PIT 在收到兴趣包时会记录下兴趣包接口,记录的同时设置一个计数器对 PIT 的增加项数进行计数,即 PIT 增长速率 p_n .当 PIT 收到数据包时,会删除相应的 PIT 项,此时再设置另一个计数器对消除的 PIT 项数进行计数,即 PIT 消除速率 p_m .如果计数器一直不清零,那内存会较大,故设定一个定时器,定时对两个计数器同时清零.相同时间内获取 PIT 消除速率 p_m 以及 PIT 增长速率 p_n ,两者相比设为丢包率 $p(o)$,即 $p(o) = p_m/p_n$.如果是针对动荡网络,PIT 的增加与删除间隔时间不易确定,本文考虑较为稳定的网络,这样 PIT 增加与删除间隔时间对丢包率检测的影响较小,可以忽略.

3.3 协作缓存算法

在 POF-CCN^[6-9] 系统中,根据节点信息以及丢包率实现差异化缓存,从而优化系统的缓存性能.本文提出的协作缓存策略,不仅考虑了路径上节点的相对距离、空闲缓存大小以及访问频率,还参考丢包率进行决策.由于丢包率没有确切的定义,所以本文基于 1:1interest/data 提出了一个简单的计算方法,

如下:

```
Algorithm: Caching Time Strategy(CTS)
1: Input
2: Content : o
3: Begin
4: For i = 1:n
5: { if i ≤ n/2
6: d(i,o) = i; // the caching time increase gradually
7: else if i ≥ n/2
8: d(i,o) = n - i + 1; } // the caching time decrease gradually
9: if k_i(o) = 0
10: t_i = 0;
11: else if t_i = (Ak_i(0) + Bf_i(0) + Cp(o)) * d(i,o);
// p(o) should multiply a large constant
12: End
```

协作缓存算法的影响因子如下:

(1)空闲缓存大小 $k_i(o)$,假设节点 i 的缓存容量为 C_i ,已占用的为 S_i , $K_i = C_i - S_i$;空闲缓存大小可能是大于 1 的数值,故需要对其进行归一化处理:

$$k_i(o) = \frac{K_i(o)}{\sum K_i(o)}.$$

(2)访问频率 $f_i(o)$,PIT 收到请求内容 o 的 interest 包的接口数/PIT 总接口数;

(3)丢包率 $p(o)$,因为缓存可能在丢包率检测到时已经完成,故两者应该是并列关系,丢包率未检测到时默认为 0.

(4)距离 $d(i,o)$,节点越靠近服务器端,距离越近,缓存时间越短.取 client 到服务器端的中间节点,client 到中间节点缓存时间逐渐增加,中间节点到服务器端缓存时间逐渐减少,因为越靠近服务器端,client 访问该节点与直接访问服务器端的代价差异并不是很大.

4 实验结果与分析

为了验证上述提出的可靠传输机制,在实验环境中搭建 POF-CCN 系统,POF Switch 和 POF 控制器软件版本为 1. 1. 9,所有机器系统均为 Linux14. 04 LTS Desktop.由于实际环境中硬件设备有限,所以实验网络拓扑由 40 个节点组成.我们假设内容请求遵循泊松分布,随机在节点上放置 1 000 个文件.平均是 1~10 个单位时间.与 LCE (Leave Copy Everywhere,处处缓存,替换策略为 LFU)以及 LCD(Leave Copy Down,下一跳缓存)进行对比.以缓存大小作为横坐标画图,实验数据由 10 次实验后得到的平均值.参数 A、B、C 可以先设置成 1/3,进行实验.再根据不同的实验环境进行调节.

对文件发起请求后便开始文件的传输,实验中

数据包长度均为 1 403 字节(1450-包头字节),以文件大小为 8 523 394 字节为例,传输的数据包总数应为 6 076,而实验结果显示 packet count 为 6 095,即证明在传输的过程中存在丢包,提出的可靠传输机制可以保证文件的完整接收,文件可以被正常读取. POF 环境下可靠传输结果如表 4 所示,其中丢包率的计算由于传输信息中包含一部分控制信息可能会导致虚高,但其对可靠传输实验结果的影响微乎其微,可以忽略.

表 4 POF 环境下可靠传输实验结果

文件大小/ Byte	丢包率/%	缓存命中率 (缓存大小为 50)
187 459	8.65	0.742 39
3 283	0	0.745 00
826 929	9.20	0.721 998
13 330	0	0.722 598
56 202	3.65	0.756 044
8 523 394	12.66	0.728 442

缓存策略结果对比指标如下所示.

- (1)缓存命中率:缓存响应用户请求的概率. 缓存命中率越高,缓存系统的效率就越高.
- (2)缓存距离代价:Client 节点发出 interest 包到请求到缓存数据时经历的跳数.

图 3 显示出系统性能随缓存大小变化而变化的情况,其中,缓存大小从 10 一直增加到 100,从图 3 (a)可以看出,三种机制的缓存命中率都会随着缓存的增加而增加,但在这个过程中,本文提出的 CTS 协作缓存算法性能一直优于 LCE 和 LCD. 图 3(b)显示出三种机制的缓存距离代价都会随着缓存的增加而减少,因为缓存命中率提高了,缓存距离自然也就近了. 图中可以看出 CTS 算法的缓存距离代价自始至终都比 LCE 和 LCD 要低. 正如预期估计的那样,实验证明本文提出的协作式缓存算法改善了缓存性能,而不可否认的是,随着缓存大小越大,LCE 的优势也会慢慢增强,使得两种算法间的差距变小.

5 结束语

基于保证内容传输可靠性以及提高内容获取效率的需求,本文在 pull 传输机制的基础上加以改进与增强,保证内容传输的可靠性. 同时基于网络节点信息和丢包率来决定缓存时间,构建 CCN 网络的差异化缓存机制,实现内容的有序缓存,改善缓存命中率以及缓存距离代价,提高网络分发性能. 并通过

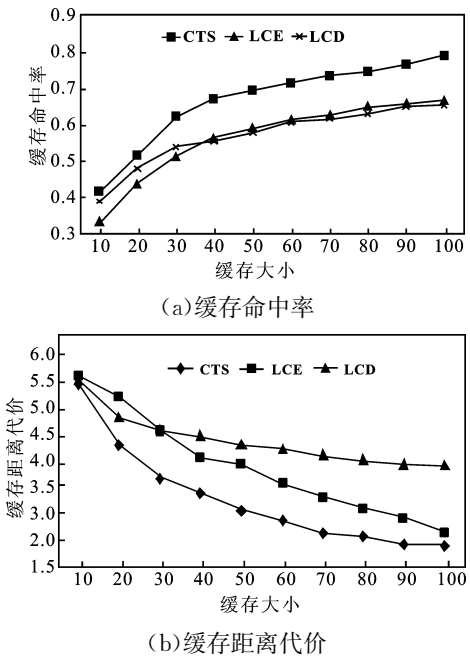


图 3 系统性能缓存的变化

实验进行证实. 当 CCN 网络更加复杂的情况下,内容传输速率限制、丢包率计算以及控制器负载问题会逐渐凸显,现有分布式控制器可以用来分担负载,或者可以考虑控制器只宏观调控内容. 这些也是进一步研究的内容.

参考文献:

[1] Wang Z, Wang L, Gao X, et al. (2015, December). An Architecture of Content-Centric Networking over Protocol-Oblivious Forwarding[C]// 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). San Diego, USA: IEEE, IEEE,2009;117-124.

[2] Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, et al. Networking named content[C]//Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies. Rome, Italy: ACM, 2009; 1-12.

[3] Song H. Protocol-oblivious forwarding: Unleash the power of SDN through a future-proof forwarding plane [C] // Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking. HongKong:ACM, 2013; 127-132.

[4] Van Jacobson, Diana K Smetters, Nicholas H Briggs, et al. Voice-over content centric networks [J]. Proc Research, 2010,16(21): 1-6.

[5] Zhu Z, Wang S, Yang X, et al. Act: An audio conference tool over named data networking[J]. ACM Sigcomm workshop ICN'11, 2011,44(3):66-73.

处理它们,并且可以通过认知方法来提升服务或预测实体的行为.用于认知的目标包括节点状态、通信状态、网络状态、任务状态以及用户行为.

(2)平台的演变

随着 WSA 的蓬勃发展,各种 WSA 平台的有效组织和融合将成为一个重要课题.通过合适的部署和调度,能更加有效地利用感知器和执行器,因此能节省过多部署和维护的冗余成本.从 SDN 控制器的角度来看,为了更高的可扩展性以及可靠性,多层 SDN 控制器应该协同工作.此外,SDN 控制器云可能会出现,并且会产生虚拟化以及发布等问题.

从 WSA 节点的角度来看,有必要采取措施,通过 SDN 智能控制来促进传统 WSA 转变为 SAN 云.因此可以通过提升性能处理各种任务,并且实现各种资源和负载的最佳配置.

参考文献:

- [1] Aaseer Sabri, Syed Alwee Aljunid, Muhammed Sabri Salim, et al. Cognitive wireless sensor actor network: An agricultural perspective[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2014,10(2):631-658.
- [2] Zhu Chunsheng, Victor C M Leung, Lei Shu, et al. Green internet of things for smart world[J]. IEEE Access, 2015,3:2151-2162.
- [3] Irfan Al-Anbagi, Melike Erol-Kantarci, Mouftah Hussein T. Priority- and delay-aware medium access for wireless sensor networks in the smart grid[J]. IEEE Systems Journal, 2014,8(2):1-11.
- [4] Zhu Chunsheng, Laurence T Yang, Shu Lei, et al. Insights of Top-k query in duty-cycled wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015,62(2):1317-1328.
- [5] Lionel Bertaux, Samir Medjah, Pascal Berthou, et al. Software defined networking and virtualization for

broadband satellite networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2015,53(3):54-60.

- [6] Tie Luo, Tan Hwee-Pink, Quek T Q S. Sensor open-flow: Enabling software-defined wireless sensor networks[J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(11):1896-1899.
- [7] De Gante Alejandro, Aslan Mohamed, Matrawy Ashraf. Smart wireless sensor network management based on software-defined networking[C]//Proc. of 27th Biennial Symposium on Communications, Ontario:IEEE, 2014:71-75.
- [8] Qin Zhijing, Denker Grit, Giannelli Carlo, et al. A software defined networking architecture for the internet-of-things[C]// Proc. of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium: Management in a Software Defined World. Krakow:IEEE,2014.
- [9] Valdivieso Caraguay Angel Leonardo, Benito Peral Alberto, Barona Lopez Lorena Isabel, et al. SDN: Evolution and opportunities in the development IoT applications[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014,10(5):1-10.
- [10] Wang Yanwen, Chen Hainan, Wu Xiaoling, et al. An energy-efficient SDN based sleep scheduling algorithm for WSNs[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016,59:39-45.
- [11] Han Zhi-Jie, Ren Wanli. A novel wireless sensor networks structure based on the SDN[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014,10(3):1-7.

作者简介:

吴鸿玲 女,(1990-),硕士研究生.研究方向为事云计算任务调度,无线传感网络的研究.

E-mail:2442361223@qq.com.

程耕国 男,(1949-),教授,硕士生导师.研究方向为计算机控制系统、基于网络的计算机应用.

程 骅 女,(1976-),博士,副教授.研究方向为多维系统分析与实现、网络计算与信号传输.

(上接第 107 页)

- [6] Jung S, Park H, Woo T, et al. Data pushing using IPT in content-centric networking [C] // Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2014 Sixth International Conf on. Shanghai,China:IEEE, 2014: 164-165.
- [7] 闵二龙,陈震,许宏峰,等. 内容中心网络 CCN 研究进展探析[J]. 2012,12(2):6-10.
- [8] Shen H, Xu SH. Coordinated en-route Web caching in multiserver networks[J]. IEEE Trans on Computers, 2009, 58(5):605-619.

- [9] 刘外喜,余顺争,蔡君,等. ICN 中的一种协作缓存机制 [J]. Journal of Software, 2013, 24(8): 1947-1962.

作者简介:

夏 莹 女,(1992-),硕士研究生.研究方向为未来网络.

E-mail:love11@mail.ustc.edu.cn.

王 雷 男,(1972-),副教授.研究方向为未来网络.

侯方杰 男,(1991-),硕士研究生.研究方向为未来网络.