

CCN 中基于业务类型的多样化内容分发机制

葛国栋¹, 郭云飞², 刘彩霞², 兰巨龙²

(1. 中国人民解放军 75753 部队, 广东广州 510600; 2. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南郑州 450002)

摘要: 针对内容中心网络(Content Centric Networking, CCN)如何提供差异化的业务需求服务的问题,采用区分服务的思想,从内容传输和缓存决策的角度出发,提出了一种基于业务类型的多样化内容分发机制. 该机制依据不同的业务请求特征,分别设计了持久推送、并行预测和逐包请求的数据分发模式,对应提出了透明转发、边缘概率缓存和渐进式推进的沿途存储策略,实现了内容传递对于业务类型的感知和匹配. 仿真结果表明,该机制减小了内容请求时延,提高了缓存命中率,以少量额外的控制开销提升了 CCN 网络整体的内容分发性能.

关键词: 内容中心网络; 区分服务; 缓存策略; 业务类型

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2016)05-1124-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.05.1016

A Diverse Content Delivery Scheme Based on Traffic Types in Content Centric Networking

GE Guo-dong¹, GUO Yun-fei², LIU Cai-xia², LAN Ju-long²

(1. Troop 75753, People's Liberation Army, Guangzhou, Guangdong 510600, China;

2. National Digital Switching System Engineering & Technological Research Center, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: How to provide differentiated services for diverse types of traffic poses challenges to the retrieval process of Content Centric Networking (CCN). Inspired from the idea of differentiated service, a diverse content delivery scheme based on traffic types is proposed. When requesting contents, three delivery models, namely, persistent push, parallel prediction and one-one request, are proposed according to the characteristics of the requested traffic. When making the caching decision, three on-path caching policies, including transparent forwarding, probabilistic edge caching and gradual push are implemented respectively to match the delivery models. The simulation results show that the scheme can decrease the request latency, achieve higher cache hit ratio, while improving the overall performance of content delivery with a small amount of additional control overhead.

Key words: content centric networking; differentiated service; caching strategy; traffic type

1 引言

随着互联网技术与应用的飞速发展,“宽带化”、“内容化”与“个性化”已成为网络发展的主旋律,人们对于数据内容的需求日益强烈,网络应用的主体逐步向内容请求服务演进^[1]. 据 Cisco VNI Mobile Forecast 预测,到 2014 年互联网上所有内容相关的流量将占据超过 97.5% 的份额,传统以主机为中心的网络体系结构难以满足当前网络信息服务的要求. 为了适应不断增长的数据内容访问需求,内容中心网络(Content Centric

Networking, CCN)^[2,3]作为一种革命式的未来互联网设计思路,将网络通信模式从关注“在哪”转变为关注“是什么”,直接表达用户和应用的通信目的,成为未来互联网设计的重要模式. 在 CCN 设计中,直接以内容名字进行路由,当沿途节点接收到兴趣包(Interest Packet)请求后,依据内容名字依次在内容存储器(Content Store, CS)、未决请求表(Pending Interest Table, PIT)和转发信息库(Forwarding Information Base, FIB)中进行匹配查询,实现点到多点的内容分发.

CCN 采用沿途普遍缓存(Cache Everything Every-

where, CE^2) 的方式, 应答数据将在沿途转发路径的所有节点上进行存储. 内容传输时, 采用请求者驱动的一对一 (one-request-one-data) 分发模式, 节点预先需要逐一发送 Interest Packet, 当接收到 Data Packet 后, 再发送后续内容请求. 在 CCN 请求和应答过程中, 对于所有业务请求, 仅仅依据内容名字, 执行相同的匹配查询、路由转发和缓存决策, 缺乏对于业务请求特征的考虑, 无法提供差异化的业务需求服务^[4], 主要体现在两个方面:

(1) 内容传输时, 采用请求者驱动的一对一分发模式, 节点需要预先逐一发送内容请求, 产生大量兴趣报文和控制开销, 浪费了上行链路的带宽资源. 同时, 这种机械式的逐包请求方式, 对于时延敏感的实时业务, 即时推送、通告类等业务类型, 内容产生后将无法及时发送给请求者, 增大了内容请求时延.

(2) 缓存决策时, 泛滥式的沿途全部缓存方式 CE^2 , 致使节点缓存内容趋于同质化, 导致大量的缓存冗余^[5]. 盲目不加区分地将所有应答内容进行缓存, 既浪费了节点有限的存储空间, 又增加了报文的转发处理开销. 例如, 对于实时流媒体, VoIP 等业务类型, 内容共享度低, 私有性强, 节点缓存内容后, 无法实现后续的有效利用, 而且影响了其他业务内容的正常存储. 同时, 在内容传输中, 沿途节点逐跳的内容缓存和 CS 查询匹配, 增大了节点的计算和处理开销.

文献[4,6]分析了信息中心网络在支持多媒体业务传输的优势和不足, 对现有方案进行了对比分析, 指出了目前存在的问题; 文献[7]在 CCN 中设计了一种支持 VoIP 业务的传输模式 (VoCCN). 请求者预先发送多个兴趣请求, 同时在数据源处形成未决状态, 一旦内容产生, 便可立即发送. 该方案增大了沿途节点 PIT 需要存储的条目信息, 逐包的内容请求模式效率低下; 文献[8]针对实时业务, 采用一对多的请求方式 (MERTS), 通过发送特殊兴趣包完成 n 个数据单元的同时请求. 但是, 该方案对于非实时业务采用的仍旧是沿途普遍缓存方式; 文献[9]针对视频点播业务, 提出了一种沿途协作缓存算法, 节点只存储内容索引与其标签值相等的数据单元, 避免相同内容的重复冗余缓存. 文献[10]依据可靠性和实时性指标, 将内容划分为不同业务类型, 设计了差异化的内容请求模式. 但是该方案缺乏对于缓存决策的考虑. 文献[11]提出了一种支持快速和正常转发的双模式传输策略. 对于共享内容, 采用 CCN 原有的缓存和请求模式, 对于私有内容, 直接依据 FIB 实现快速的路由转发.

为此, 本文认为在内容请求时, 不仅要依据内容名字, 更需要结合具体的业务类型请求特征, 设计差异化的缓存决策和数据传输模式. 为此, 为了支持多样化的业务类型和服务需求, 在 CCN 中提出了一种多样化内

容分发机制 (Diverse Content Delivery Scheme, DCDS). DCDS 采用区分服务的思想, 从内容缓存和传输方式的角度出发, 研究业务请求特征驱动的差异化内容分发策略, 实现内容传递对于业务类型的感知和匹配.

2 多样化内容分发机制

为了实现对于多样化业务类型的支持, 在 CCN 原有的 Interest Packet 和 Data Packet 中添加业务类型 (Type of Traffic, ToT) 和报文类型 (Type of Packet, ToP) 字段. 其中, ToT 用于标识的不同的请求业务, ToP 字段用于标识和区分不同的请求和应答报文. 沿途节点依据 ToT 和 ToP 取值, 执行差异化的缓存策略和内容传输模式.

本文考虑三种业务类型: (1) 实时业务. 例如, 实时流媒体业务, VoIP 等. 该类业务实时性强, 内容产生后必须立即发送给请求者, 对于请求时延要求严格. 同时, 内容后续共享程度小, 私有性强. (2) 非实时的流媒体业务. 例如视频点播业务. 该类业务后续共享程度高, 包含的内容文件大, 一般被划分为多个数据块单元 (chunks), 用户按照顺序逐次请求, 连续内容请求之间具有强的相关性^[12], 时延要求低于实时业务, 但对于带宽资源要求大; (3) 用户自产生内容 (User Generate Content, UGC)^[13,14]. 例如, 静态图片、文本信息共享等. 该类业务内容文件小, 内容数量大, 不同请求之间没有明显的相关性, 对于时延和带宽没有明显要求.

图 1 给出了 DCDS 工作流程, 沿途节点依据 ToT 和 ToP 标识, 判断所属业务类型, 执行对应的内容请求和缓存策略, 具体包括持久推送, 并行预测和逐包请求三种内容分发模式.

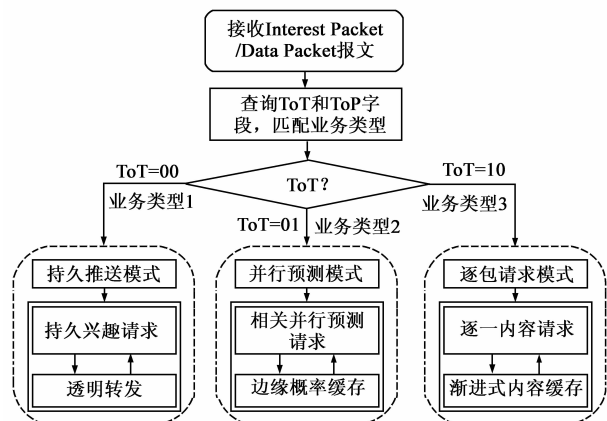


图1 DCDS基本工作流程

2.1 持久推送模式

对于该类业务请求: (1) 实时性强, 对于时延要求严格, 内容产生后必须立即发送给请求者. CCN 基于请求者驱动的一对一传输模式无法保证内容请求时延,

而且会引入大量的请求报文开销;(2)内容私有性强,共享度低.对于该类业务数据的存储,无法实现后续的有效利用,又浪费了节点有限的存储空间.

为此,对于该类业务请求采用持久推送,快速转发的分发策略:(1)请求者发送持久兴趣请求,建立与数据源之间稳定的传输关系,避免逐一的报文请求,实现实时内容的即时发送;(2)沿途节点对于该类业务数据不执行缓存操作,无需进行 CS 的查询匹配,实现报文的透明转发,加快处理速度.

2.1.1 内容请求

业务类型 ToT = 00, 报文类型 ToP 包括:(1)持久兴趣包(00), PIP(Persistent Interest Packet);(2)持久数据包(01), PDP(Persistent Data Packet);(3)更新兴趣包(10), UIP(Update Interest Packet);(4)注销兴趣包(11), UsIP(Un-subscribe Interest Packet).

在上行请求过程中,当沿途节点接收到 Interest Packet 后,首先查看 ToT 和 ToP 字段,确定业务和报文类型.如图 2 所示,如果 ToT = 00, ToP = 00,则表示持久

兴趣请求 PIP.沿途节点无需执行 CS 查询匹配,在 PIT 表项中添加请求条目,并标记该请求接口为持久兴趣请求,然后按照 FIB 表项执行上行转发(步骤①);如果该内容已被请求,而来自不同接口,则在 PIT 条目中添加对应接口信息(步骤②).当数据源接收到持久请求 PIP,每当内容产生后,立即向对应的请求接口发送应答内容 PDP,无需预先逐一的内容请求(步骤③).沿途节点依据对应的持久请求接口信息,实现应答内容的反向传输.

2.1.2 数据应答

当下行节点接收到 Data Packet 后,查看 ToT 和 ToP 字段,如果接收到的是 PDP 报文,节点 CS 不执行应答内容缓存,直接查询 PIT 表项,执行 PDP 的下行转发(步骤③),加快应答报文回传速度.如果请求接口为持久兴趣请求,内容应答后,对应的 PIT 条目并不进行删除,直至其过期或者接收到用户主动发送的 UsIP 取消操作,再进行删除操作.

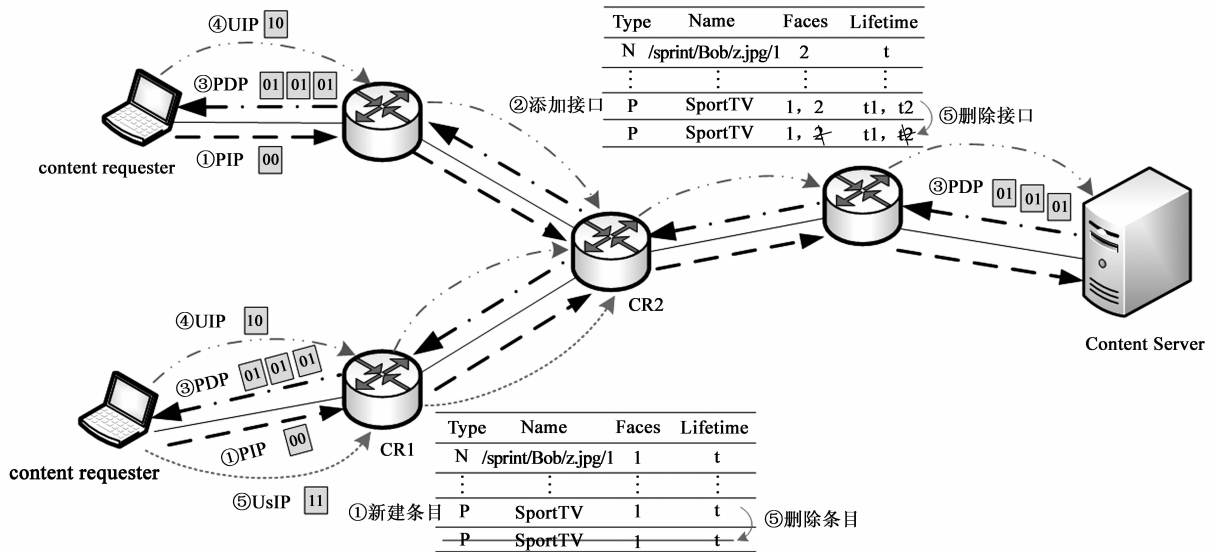


图2 持久推送模式下的内容分发策略

2.1.3 缓存决策

节点查看 ToT 字段,如果为第一类业务请求,在上行传输时,无需执行 CS 的逐跳匹配查询,在下行应答时,沿途节点不执行内容缓存操作,直接依据 PIT 表项进行 PDP 转发.对于该类业务请求,报文的透明传输和快速转发,减小了实时内容的请求时延,同时也增大了其他业务内容缓存概率,提升了节点缓存空间整体利用率.

2.2 并行预测模式

对于该类业务请求:(1)内容共享度高,可以被后续反复请求,沿途节点对于该类数据的缓存可以有效

提高后续请求的就近响应;(2)内容文件大,对于带宽资源要求高.如果内容请求都发送至内容源处进行响应,将消耗大量的网络带宽资源.为此,在缓存决策时,如果能将该类业务内容缓存至网络边缘,将大大减小网络流量传输和带宽需求;(3)内容包含多个数据块单元,用户需要连续发送多个兴趣请求.若能提前预测并执行后续数据单元的并行请求,将大大减小内容请求时延.

为此,对于该类业务请求采用并行预测,边缘存储的分发策略:(1)依据内容请求序列间的相关性特征,主动发送对后续相关数据单元的并行请求,预先获取

并缓存内容;(2)将应答内容以概率方式推送至网络边缘进行存储,减小沿途缓存冗余和网络流量传输。

2.2.1 内容请求

业务类型码 ToT=01, 报文类型包括:(1)兴趣包(00);(2)数据包(01);(3)相关兴趣包(10), CIP(Correlated Interest Packet);(4)相关数据包(11), CDP(Correlated Data Packet, CDP), 其中 CIP 和 CDP 用于标识节点基于相关性发出的预测请求和应答报文。

定义 1 内容请求相关系数 ρ_{cor} : ρ_{cor} 用于定量地描述内容请求序列之间的相关性程度, 表示同一内容对象, 相邻 chunk 单元被连续请求的概率大小:

$$\rho_{cor} = P(r_{n+1} = C_{i+1} | r_n = C_i) \quad (1)$$

其中, $0 \leq \rho_{cor} \leq 1$, r_{n+1}, r_n 分别表示第 n 和 $n+1$ 次发送的内容请求, $\forall i, C_i$ 和 C_{i+1} 属于同一内容对象, 且代表了连续的数据块单元。 ρ_{cor} 取值越大, 数据块请求序列之间的相关性越强, CIP 报文请求的预测内容命中率越高。

在上行内容请求过程中, 沿途节点接收到兴趣包后, 查看 ToT 和 ToP 字段, 确定业务和报文类型。如图 3 所示, 如果 ToT=01, ToP=00, 则表示用户发送的正常兴趣请求(步骤①)。当缓存命中节点发送 Data Packet 对当前请求应答时(步骤②), 主动发送 CIP 报文, 执行下一相关数据单元的预测请求(步骤③)。当请求节点接收到 CDP 报文后, 由于无法确定用户是否会在短时间内发送下一数据单元请求, 对于预测内容首先进行临时缓存(红色方框所示), 缓存时间设为 t_{tem} (步骤④)。如果在 t_{tem} 内, 没有接收到后续请求, 说明该次请求预测错误, 在 CS 中标记该内容为“可替换”状态。当节点执行缓存替换时, 优先淘汰“可替换”内容。如果在 t_{tem} 周期内, 节点接收到用户发送的兴趣请求, 在 CS 中正式缓存该预测内容, 其存储位置更新为 CS 最顶层, 并删除临时缓存时间选项, 执行正常的 LRU 替换策略(图 3-3 步骤④)。

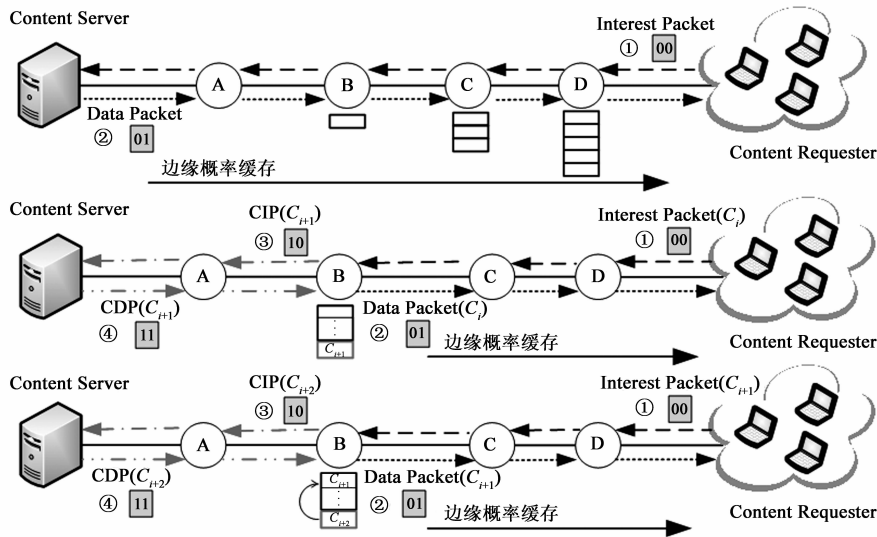


图3 并行预测模式下的内容分发策略

2.2.2 数据应答

当下游节点接收到应答数据后, 查看 ToP 字段, 如果为正常的应答数据报文, 按照 2.2.3 节提出的边缘概率缓存策略确定内容的目标存储节点。当节点执行内容缓存后, 该内容将被添加到 CS 最顶层。当下游节点接收到相关数据报文 CDP 时, 由于该内容是基于相关性发起的预测请求, 沿途节点不进行缓存, 直接依据 PIT 表项将该内容发送至请求节点。

2.2.3 缓存决策

沿途节点以概率方式执行缓存决策, 随着应答数据的逐跳下行传输, 缓存概率不断增大, 将请求内容推送至网络边缘进行存储。同时, 采用累加和重置的方式, 动态调节缓存概率大小, 避免沿途内容的重复冗余缓存。

(1) 内容请求者(Content Consumer) v_c 发送兴趣请

求, 通过兴趣包的上行逐跳传输, 依次记录并更新传输路径长度 l , 每当兴趣包到达下一节点, 传输跳数加 1。最终, 当 Interest Packet 到达内容提供者(Content Provider) v_p 后, l 记录的就是沿途传输路径节点的个数。

(2) 当 v_p 发送数据包进行应答时, 依据 l 取值首先计算沿途节点的初始缓存概率 p_h :

$$p_h = \frac{h^2}{\sum_{i=1}^l i^2}, 1 \leq h \leq l \quad (2)$$

其中, h 为当前节点距离内容提供者 v_p 的路由跳数, 节点距离数据源越远, 缓存概率越大。当下行节点接收到 Data Packet 后, 以累加缓存概率 p_s 决定是否缓存应答内容:

$$p_s = \sum_{i=1}^h p_h = \frac{1^2 + 2^2 + \dots + h^2}{\sum_{i=1}^l i^2} \quad (3)$$

(1) 如果缓存, 将累加缓存概率 p_s 置为 0. 当后续节点接收到应答包后, 如果 p_s 已被置 0, 说明上行节点已经缓存了应答内容, 后续节点将不执行内容存储, 直接依据 PIT 表项进行路由转发, 避免相同内容的重复存储; (2) 否则, p_s 将不断累加, 更新为已有转发节点的缓存概率之和, 以增大后续节点的存储概率.

2.3 逐包请求模式

对于该类业务请求: (1) 内容共享程度高, 可以被后续反复请求, 沿途缓存可有效提高内容请求的就近应答; (2) 对于带宽和时延没有严格要求, 应答内容返回时, 可考虑向数据源侧进行缓存, 与并行预测模式下提出的边缘存储策略实现存储位置的相对分离和互相补充, 提升网络节点缓存空间的整体利用率.

为此, 对于该类业务采用逐包请求, 渐进式缓存的分发策略: (1) 初始请求时, 应答数据优先考虑向数据源侧进行存储, 伴随后续内容的不断请求, 以渐进式的方式逐步将流行内容推送至网络边缘存储; (2) 内容请求时, 采用 CCN 逐包请求模式, 当请求者接收到应答内容后, 再发送后续请求.

2.3.1 内容请求与数据应答

业务类型码 ToT = 10, 报文类型码 ToP 包括: (1) 兴趣包(00); (2) 数据包(01).

内容请求采用一对一逐包请求模式, 用户发送内容请求, 沿途任何存储该请求内容的节点都可发送 Data Packet 进行响应, 下行节点按照 2.3.2 节提出的渐进式存储策略执行沿途内容存储. 当请求节点接收到对应的应答内容后, 发送下一内容请求.

2.3.2 缓存决策

沿途节点以概率的方式执行缓存决策, 随着 Data Packet 下行传输, 缓存概率不断减小, 优先在数据源侧存储应答内容; 同时, 采用重置归 0 的方式, 动态调整节点缓存概率, 避免沿途内容的重复冗余缓存.

内容请求者 v_c 发送 Interest packet 请求, 通过兴趣包上行的逐跳传输, 依次记录并更新传输路径长度 l , 每当兴趣包到达下一跳节点, 传输跳数加 1. 最终, 当 Interest Packet 到达 v_p 后, l 记录的就是传输路径节点的个数. 当 v_p 发送 Data Packet 进行应答时, 依据 l 首先计算沿途节点初始缓存概率 p_h :

$$P_h = 1 - \frac{h^2}{\sum_{i=1}^l i^2} = \frac{\sum_{i=l-h}^l i^2}{\sum_{i=1}^l i^2}, 1 \leq h \leq l \quad (4)$$

当下行节点接收到 Data Packet 后, 以 p_h 决定是否缓存该应答内容: (1) 如果缓存, 将缓存概率 p_h 置为 0. 当后续节点接收到应答包后, 如果 p_h 已被置 0, 说明上行节点已经缓存了应答内容, 后续节点将不执行内容存储, 直接依据 PIT 表项进行路由转发; (2) 否则, 当后续节

点接收到 Data Packet 后, 依据 h 重新计算 p_h 大小, 重复缓存决策过程. 当内容初始请求时, 将以很大的概率被缓存到数据源侧, 随着后续内容的不断请求, 存储位置以渐进式的方式逐跳下行推进.

3 仿真与性能分析

3.1 仿真环境与参数设置

采用 ndnSIM 进行仿真与性能分析, 该工具对于 CCN 的基本数据单元结构和路由转发流程均已实现, 并提供了开放的源码和运行实例. 在 GT-ITM 下采用 Locality 模型生成 50 个路由节点的平面随机网络拓扑, 在网络中设置 2 个内容服务器, 负责内容集的存储和实时数据流的产生, 边缘节点作为用户接入节点, 发布内容请求.

为了模拟实时业务流(业务 1 请求), 借鉴文献[11]的构造方法, 每个内容服务器产生恒定数据流, 发送速率设为 γ kbps. 依据文献[13]中对应的业务统计数据, 分别设置业务 2、3 对应的内容大小和数量比例关系: (1) 对于第 2 类业务请求, 内容对象 N 为 2000 个, 内容序号以 1~2000 依次排序, 每个内容划分为 10 个 chunk, 大小设为 10Kbytes. 内容请求到达服从泊松过程^[15], 请求概率服从 Zipf 分布^[16], 第 i 个内容的请求概率为: $p(i) = \frac{C}{i^\alpha}$, $C = (\sum_{i=1}^N \frac{1}{i^\alpha})^{-1}$, $\alpha = 1.2$ ^[13]. 对于同一

请求内容, 依据相关性系数 ρ_{cor} 依次发送对于后续数据块单元的请求; (2) 对于第 3 类业务, 内容对象总数 10000 个(2001~12000), 每个内容只含有 1 个数据块单元, 依据 Zipf 分布($\alpha = 0.8$ ^[13]) 执行独立决策, 选取后续目标请求内容. 仿真时间设为 500s, 内容请求到达速率 $\lambda = 100$ 个/s, 采样周期 $T = 5$ s, T_{lem} 设为 200ms, 节点缓存容量一致, CS 均设为 20MB, 可存储 2000 个 chunks. 初始节点缓存状态为空, 无任何内容存储, 缓存替换策略采用最近最少使用策略 LRU.

3.2 性能分析

将本文提出的 DCDS 与 CCN^[2] 和 MERTS^[8] 进行对比分析, 性能评价指标包括: 平均请求时延(Average Request Delay, ARD), 缓存命中率(Cache Hit Ratio, CHR)以及额外开销对比.

3.2.1 平均请求时延

图 4 给出了 $\gamma = 800$ kbps, $\rho_{cor} = 0.90$ 和 $\gamma = 1600$ kbps, $\rho_{cor} = 0.95$ 时, 各方案的 ARD 对比, 采样时间间隔 $T = 5$ s. 仿真初始阶段, 由于所有节点存储状态为空, 兴趣包请求都需要转发至内容服务器进行响应, ARD 较大. 但随着内容的不断存储, 节点缓存内容的响应概率逐渐增加, 业务 2、3 对应的 ARD 随之减小.

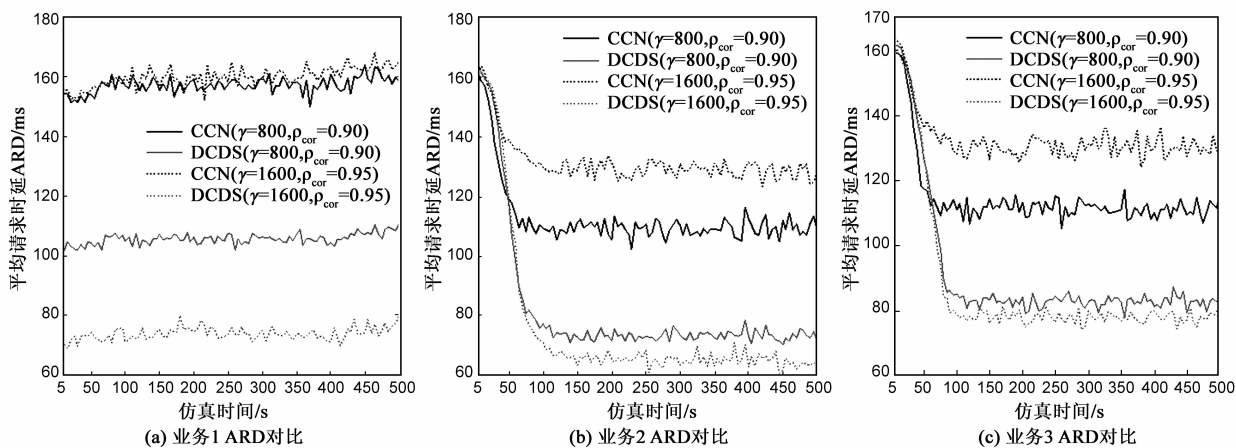


图4 平均请求时延ARD对比

在 CCN 中,一对一的逐包请求模式无法保证实时内容的及时发送,ARD 明显大于 DCDS 的持久请求模式(图 4(a));对于业务 2(图 4(b)),依据内容请求序列的相关性,主动发送对于后续关联内容的预测请求,增大了内容请求的就近响应概率,有效减小 ARD;在业务 3 的缓存决策中,采用渐进式的概率缓存策略,避免沿途相同内容的重复冗余存储,增大了缓存内容的利用率和就近响应概率(图 4(c)).随着 γ 的增大(800kbps 到 1600bps),由于 DCDS 和 MERTS 对于实时业务流不执行缓存,可以节省更多的存储空间用于其他业务内容存储,ARD 随之减小.随着 ρ_{cor} 取值增加,内容请求序列相关性程度越强,CIP 报文请求的预测内容命中率越高,业务 2 对应的 ARD 越小(图 4(b)).

3.2.2 缓存命中率

图 5 给出了 $\gamma = 800\text{kbps}$, $\rho_{cor} = 0.90$ 和 $\gamma = 1600\text{kbps}$, $\rho_{cor} = 0.95$ 时,整个仿真时间 $T = 500\text{s}$ 内,各方案 CHR 对比.由于 CCN 采用 CE^2 的缓存方式,应答内容的重复冗余存储将导致节点缓存内容的频繁替换更新.特别是对于实时数据的缓存,既浪费了节点有限的存储空间,又影响了其他业务内容的正常缓存和后续利用,节点对应的 CHR 明显小于 MERTS 和 DCDS.

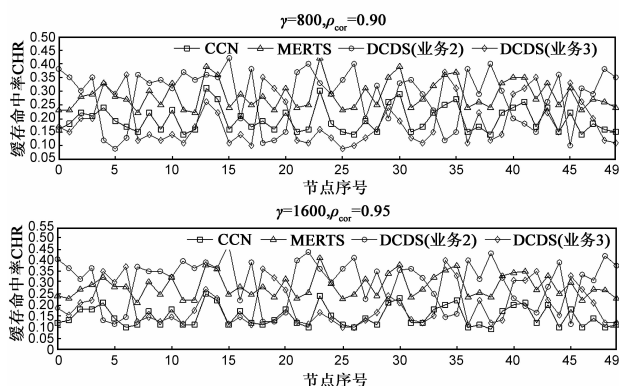


图5 节点缓存命中率对比

对于 MERTS,对于实时内容不执行存储,但是对于其他业务采用的仍然是沿途普遍缓存的方式,CHR 提升有限;DCDS 中,在业务 2、3 的缓存决策中,分别采用边缘概率和渐进式的缓存方式,通过动态调整缓存概率和重置归零的方式,减小了沿途缓存冗余和内容替换率.同时,内容存储位置上的互补性,既增大了业务 2 内容请求的就近响应概率,又逐步将业务 3 对应的流行内容推送到网络边缘节点,提升了缓存资源的整体利用率.图 6 给出各方案平均 CHR 对比.

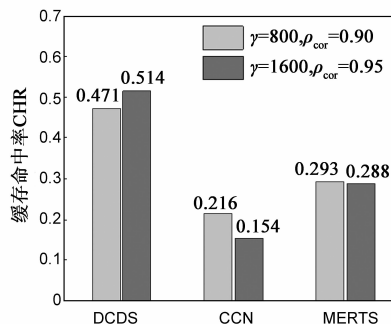


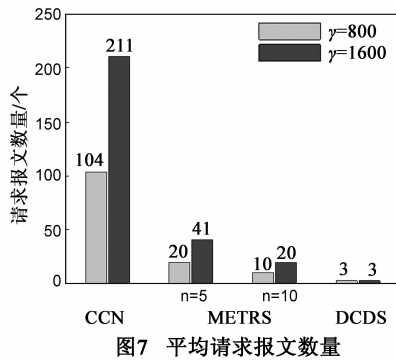
图6 平均缓存命中率对比

3.3 开销对比

3.3.1 请求报文数量

图 7 给出在实时内容(业务 1)分发时,请求相同的数据流量($\gamma \cdot T$),各方案平均需要发送的兴趣包数目, $T = 10\text{s}$.

对于 CCN,需要对每个数据包逐一发送兴趣请求,发送的请求报文数量最多;MERTS 执行一对多的内容请求模式,其发送的报文数量与具体 n 的取值大小紧密相关; VoCCN 初始时发送多个内容请求,在数据源端使多个内容请求同时处于未决状态,但该方案对于每一个数据包依然需要发送对应的请求报文,产生的兴趣包数量与 CCN 请求模式相当.对于 DCDS,通过沿途节点 PIT 表型持久请求接口的逐条记录,与数据源建立



稳定的传输关系,可实现实时内容的持久接收,直到用户发送 UsIP 进行注销操作,产生的兴趣报文数量最小.

3.3.2 业务控制开销

(1) 业务控制开销 (C_c): DCDS 为了提供对于多样化业务需求的支持,在 CCN 原始的 Interest Packet 和 Data Packet 中增加了额外的 ToT (8bits) 和 ToP (8bits) 控制字段,以匹配不同的业务类型. 代价开销定义为额外控制字段长度 (P_{exa}) 与其传输路由跳数 (hop) 的乘积, $C_c = P_{\text{exa}} \cdot \text{hop}$, 单位为 bits · hops.

(2) 内容传输开销 (C_T): 定义为内容请求过程中, 请求兴趣包和应答数据包分别与其传输距离的乘积之和, 大小取决于具体的报文长度和内容请求传输的路由跳数, $C_T = (P_{\text{Int}} + P_{\text{Dat}}) \cdot \text{hop}$. 其中, $P_{\text{Int}}, P_{\text{Dat}}$ 分别表示兴趣包和数据包的报文长度.

表 1 代价开销对比 (业务 2: $\alpha = 1.2$, 业务 3: $\alpha = 0.8$)

方案	$\gamma = 800\text{kbps}$			$\gamma = 1600\text{kbps}$		
	CCN	MERTS	DCDS	CCN	MERTS	DCDS
C_c	0	617×10^3	835×10^3	0	650×10^3	847×10^3
C_T	34631×10^6	25539×10^6	16895×10^6	46098×10^6	27161×10^6	17393×10^6

表 2 代价开销对比 (业务 2: $\alpha = 1.4$, 业务 3: $\alpha = 1.0$)

方案	$\gamma = 800\text{kbps}$			$\gamma = 1600\text{kbps}$		
	CCN	MERTS	DCDS	CCN	MERTS	DCDS
C_c	0	505×10^3	621×10^3	0	532×10^3	636×10^3
C_T	27943×10^6	20154×10^6	13545×10^6	40138×10^6	21776×10^6	14319×10^6

表 1 给出在 $\rho_{\text{cor}} = 0.95$, γ 取值分别为 800kbps 和 1600bps 时, 各方案对应的代价开销对比, $T = 5\text{s}$. 在 CCN 中, 没有提供针对业务类型的差异化服务机制, 所以不会引入额外的控制开销, C_c 为 0. 但是, 在内容请求时, 单一地内容请求和缓存模式, 无法实现高效的内容分发, 对应的内容传输开销 C_T 明显大于 MERTS 和 DCDS. 在 DCDS 中, 对于不同的业务类型, 采用差异化的内容请求和缓存方式, 有效的减小了 C_T . 相比 CCN, DCDS 通过少量额外控制开销 C_c 的付出, 换取了 C_T 的有效下降 (48.8%).

分别增大业务 2,3 对应的 Zipf 分布指数 α , 表 2 给出

了对应的代价开销对比. 随着 α 指数的增大, 业务 2,3 对应的请求内容更加集中在少数流行资源上, DCDS 对应的内容请求开销 C_T 和控制开销 C_c 都得到不同程度减小.

3.4 适应性讨论

图 8 给出了在 $\rho_{\text{cor}} = 0.95$, $\gamma = 1600\text{kbps}$ 时, 各方案 ARD 随节点缓存容量的变化趋势. 随着节点缓存空间的不断增加, 更多的请求内容可以被存储在沿途节点上, 提高了 CHR, 各方案对应的 ARD 不断减小. 当节点缓存空间较小时, DCDS 对于实时内容不执行沿途存储, 节省了节点有限的存储资源, 增大了其他业务的缓存概率. 同时, 在缓存决策时, 对于业务 2 和 3 的应答内容, 分别采用边缘概率和渐进式的存储方式, 避免了相同内容的重复冗余存储. DCDS 可以有效利用节点的缓存空间, 对于缓存容量的变化具有良好的适应性.

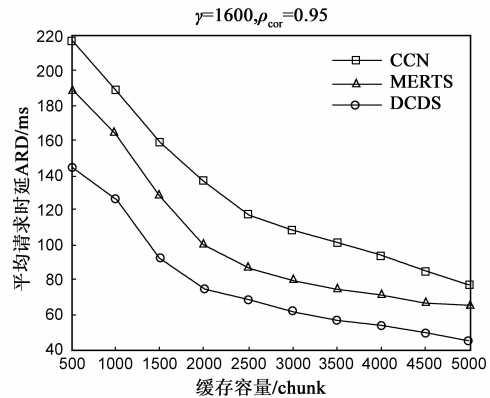


图 8 ARD随缓存容量的变化趋势

图 9 给出了在 $\rho_{\text{cor}} = 0.95$, $\gamma = 1600\text{kbps}$ 时, 内容请求 (业务 2 和 3) 在不同的 Zipf 指数 α 取值下, 各方案 ARD 的变化趋势. 图 9 当 α 取值较小时, 内容请求分布不能有效集中, 在 α 取值为 0.2 和 0.4 时, 业务 2,3 对应的最大流行内容请求概率仅为 0.0018、0.0063 和 0.0005、0.0024, 多样化的内容请求和存储将导致缓存内容的频繁替换更新, 增大了 ARD. 随着 α 的增大, 内容请求的集中性不断加强, 流行资源在缓存中的驻留概率和响应率

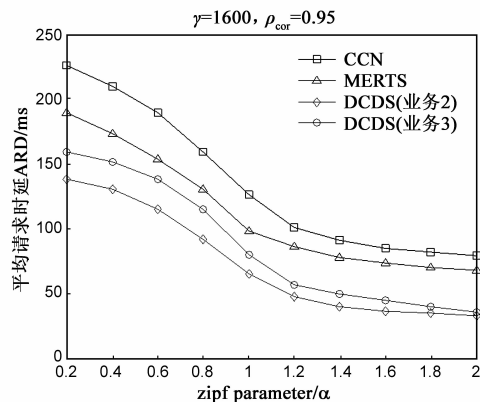


图 9 ARD随Zipf指数 α 的变化趋势

明显增大,ARD 逐步减小.特别是当 α 取值位于 0.8 到 1.2 区间时,内容请求的集中性显著增大,ARD 大幅下降.DCDS 依据业务类型,采用多样化的内容分发模式,有效的减小了 ARD,对于 α 取值变化具有良好的适应性.

4 结束语

在 CCN 的设计中,对于不同业务请求,单一地执行相同的缓存决策和请求应答模式,难以保证差异化的业务服务需求.本文从区分服务的思想出发,提出了基于业务类型的多样化内容分发机制.DCDS 依据具体的业务请求特征,分别设计了持久推送、并行预测和逐包请求的内容分发模式,提出了透明转发、边缘概率缓存和渐进式推进的沿途存储策略,实现了内容传递对于业务类型的感知和匹配,仿真结果和对比分析显示了其有效性.后续研究工作主要是完善、扩展 DCDS 的设计思想,研究面向 CCN 的区分服务协议.

参考文献

- [1] Xylomenos G, Ververidis C, Siris V, et al. A survey of information-centric networking research [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(2): 1024 – 1049.
- [2] Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, et al. Networking named content [J]. Communications of the ACM, 2012, 55(1): 117 – 124.
- [3] 郜帅, 王洪超, 王凯, 等. 智慧网络组件协同机制研究 [J]. 电子学报, 2013, 41(7): 1261 – 1267.
Gao Shuai, Wang Hong-chao, Wang Kai, et al. Research on cooperation mechanism of smart network component [J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(7): 1261 – 1267. (in Chinese)
- [4] Piro G, Grieco L A, Boggia G, et al. Information-centric networking and multimedia services: present and future challenges [J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2014, 25(4): 392 – 406.
- [5] 张国强, 李杨, 林涛, 等. 信息中心网络中的内置缓存技术研究 [J]. 软件学报, 2014, 25(1): 154 – 175.
- [6] Tsilopoulos C, Xylomenos G, and Polyzos G C. Are information-centric networks video-ready [A]. IEEE International Packet Video Workshop [C]. San Jose: IEEE Press, 2013. 1 – 8.
- [7] Jacobson V, Smetters D K, Briggs N H, et al. VoCCN: voice-over content-centric networks [A]. Proceedings of the 2009 workshop on Re-architecture the internet [C]. Rome: ACM, 2009. 1 – 6.
- [8] Li H B, Li Y, and Lin T. MERTS: a more efficient real-time traffic support scheme for content centric networking [A]. IEEE International Computer Sciences and Convergence Information Technology [C]. Seogwipo: IEEE Press, 2011. 528 – 533.
- [9] Li Z and Simon G. Cooperative caching in a content centric network for video stream delivery [J]. Journal of Network and Systems Management, 2014: 1 – 29. DOI: 10. 1007/s10-922-014-9300-1.
- [10] Tsilopoulos C and Xylomenos G. Supporting diverse traffic Types in information centric networks [A]. ACM SIGCOMM Workshop on Information-Centric Networking [C]. Toronto: ACM, 2011. 13 – 18.
- [11] Ravindran R, Wang G, Zhang X W, et al. Supporting dual-mode forwarding in content-centric network [A]. IEEE International conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems [C]. Bangalore: IEEE Press, 2012. 55 – 60.
- [12] 朱轶, 糜正琨, 王文鼎. 一种基于内容流行度的内容中心网络缓存概率置换策略 [J]. 电子与信息学报, 2013, 35(6): 1305 – 1310.
- [13] Fricker C, Robert P, Roberts J, et al. Impact of traffic mix on caching performance in a content-centric network [A]. IEEE Conference on Computer Communications Workshops [C]. Orlando: IEEE Press, 2012. 310 – 315.
- [14] Carofiglio G, Gallo M, Muscariello L, et al. Evaluating per-application storage management in content-centric networks [J]. Computer Communications, 2013, 36(7): 750 – 757.
- [15] Psaras I, Clegg R G, Landa R, et al. Modelling and evaluation of ccn-caching trees [A]. Proceedings of IFIP Networking [C]. Valencia: Springer, 2011. 78 – 91.
- [16] Kim Y, Yeom I. Performance analysis of in-network caching for content – centric networking [J]. Computer Networks, 2013, 57(13): 2465 – 2482.

作者简介



葛国栋 男, 1985 年生于陕西咸阳. 中国人民解放军 75753 部队工程师. 研究方向为新型网络体系结构、内容中心网络.
E-mail: ggd@mail.ndsc.com.cn



郭云飞 男, 1963 年生于河南郑州. 国家数字交换系统工程技术研究中心教授、博士生导师. 研究方向为新型网络体系结构、内容中心网络.