

基于在线评估的无线 Mesh 网流媒体缓存

杜 旭,左冬红,陈 俊,江诗怡

(华中科技大学电子与信息工程系,湖北武汉 430074)

摘 要: 针对无线 Mesh 网的特点,本文研究了媒体片段副本密度的理想最佳分布与流媒体片段流行度空间分布、节点能力以及节点稳定性之间的关系,提出了基于副本稳定性补偿的缓存优化算法.相应的,为了及时准确地了解各个地点的节点行为特性,本文提出了基于年龄分布分析的可靠性评估算法.进而本文提出了一种轻量级的全分布式的流媒体缓存策略实施方案.这些算法和缓存策略占用资源小,既不需要增加额外的复杂设施,也不需要过多的额外开销,既保持了无线 Mesh 的扩展性和灵活性,又兼顾了节点计算能力弱、资源有限等约束.

关键词: 无线 mesh 网; 流媒体缓存; 参数在线评估

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 07-1523-07

Online-Estimation Based Streaming Media Replication Over Wireless Mesh Network

DU Xu, ZUO Dong-hong, CHEN Jun, JIANG Shi-yi

(Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: In view of the characteristics of Wireless Mesh Network (WMN), this paper investigates the relationship between the ideal optimal density of replicas over the space and the popularity spatial distribution of the media segments together with the capacity and reliability of the nodes, and then proposes a reliability repairing based replication optimization algorithm. Accordingly, to timely and accurately understand the characteristics of the nodes at various locations, this paper proposes a reliability estimation algorithm base on analyzing the age distribution of media segments and nodes. Further on, an implementation of full-distributed lightweight replication strategy is presented. These estimation algorithms and caching strategies only employ the handy information without adding complex infrastructure or suffering too much overhead, not only maintain the WMN scalability and flexibility, but also take into account the computing power and resource constraints.

Key words: wireless mesh; streaming media replication; online estimation

1 引言

典型的无线 Mesh 网是无中心非结构化的多跳网络,节点和节点之间可以直接或经过若干中间节点转接而相互通信.无线 Mesh 网具有良好的自组织性,易于部署易于扩展.覆盖较大区域的无线 Mesh 网可以包含成千上万个节点^[1~3].随着无线 Mesh 网的广泛部署和应用,基于无线 Mesh 网的流媒体分发也逐渐成为产业界和学术界关注的热点.

相对于有线固定网络而言,无线 Mesh 网节点所配备的存储空间非常小,CPU 处理能力也很有限,因而单个节点只能缓存有限的流媒体片段,做一些简单运算处理.另一方面,无线 Mesh 网节点大多都是自主管理的,节点可以随意开关机,可以以适当的速度自由移动,此外无线链路不稳定等因素还会导致节点暂时不可访问,

所以单个节点上缓存的媒体对象是不可靠的.要提高缓存内容的可靠性,就需要将同一媒体片段缓存在尽可能多的不同节点上;而要提高流媒体播放的连续性,就需要在有限的缓存空间上存储尽可能多的不同媒体片段.总之,在资源非常有限的无线 Mesh 网中,必须根据流行度空间分布、节点行为特性和无线链路特性精巧地部署媒体副本缓存密度.所以及时准确地了解节点的动态性和各个地点媒体内容的流行度分布是关键.问题的难点是不破坏无线 Mesh 的扩展性和灵活性,并兼顾节点计算能力弱,资源有限等约束.

2 相关工作

缓存策略是提高流媒体分发系统服务质量和用户体验质量的有效措施^[4].针对分布式非结构化的网络缓

存优化问题,特别是媒体对象副本密度分布和媒体对象流行度分布的关系,人们已经做了大量的研究,提出了许多巧妙的算法.较经典的算法有,搜寻范围最小算法^[5],获取代价最优算法^[2],正比缓存算法^[6]等.稍晚一些的研究则更多地考虑了实际网络的具体情况,如网络的动态性和异构性^[7,9],缓存资源限制^[8,10]等各方面的问題.这些算法和策略从不同的角度研究了缓存优化问题,对于部署缓存具有重要的指导意义.

在稳定性评估方面,文献[11]提出了几种生命周期模型,并研究了在不同生命周期分布下无中心非结构化 P2P 网络的连通性和弹性问题.尽管文献[11]的主题不是媒体分发和缓存,但是该论文所提出的生命周期模型值得借鉴.文献[12]通过观测 PPLive 系统中节点的离开特性构造了与文献[11]类似的节点生命周期模型.文献[13]用排队论的方法分析了节点失效的概率模型,提出了一种节点稳定性评估方法.这种方法利用一个所谓的“评估机”周期性地收集相关信息,然后通过计算一个评估期内样本节点的失效比率来推知失效概率.这种方法需要通过长时间观察一组样本才可以获知平均生存期.但是无线 Mesh 网节点本身的生存期是有限的,可能还没有等到获知平均生存期,节点自己就消亡了.即使有个别节点生存期足够长,要获知平均生存期也需要等待很长一段时间,这将导致评估结果严重滞后.

本文借鉴以上的工作,提出了基于年龄分布分析的稳定性评估方法.这种方法既不需要超级节点,也不需要等待太久时间,不仅保持了无线 Mesh 的扩展性和灵活性,还兼顾了节点计算能力弱和资源有限等约束.

3 系统模型及问题描述

不失一般性,假设无线 Mesh 网络节点分布在二维欧氏平面上.所有的节点都配备无线网络接口,无线链路具有有限的传输距离以及有限的带宽.所有的节点之间都可以直接通信或者是通过若干中间节点间接通信.这些节点以适中的速度移动,节点自主独立地开关机.假设系统中总共有 N 个节点,第 k 个节点表示为 $n_k, k \in [1, N]$,节点 n_k 的位置表示为 (x_k, y_k) .

流媒体文件一般都比较大小,在无线 Mesh 网节点上缓存整个流媒体文件是不现实的.通常会将流媒体文件分成若干个媒体片段,各节点只缓存一部分流媒体片段.本文假设系统中总共有相同大小的 M 个媒体片段.节点相互独立地请求这些媒体片段.依据流行度从高到底排序,第 i 个媒体片段表示为 $s_i, i \in [1, M]$.

媒体片段空间流行度和副本缓存密度定义如下.

定义 1 媒体片段 i 的空间流行度是指单位时间内在单位面积上对媒体片段 i 的请求次数. t 时刻媒体

片段 i 在位置 (x, y) 上的空间流行度表示为 $p_i(x, y, t)$. 简单起见, $p_i(x, y)$ 表示当前时刻媒体片段 i 在位置 (x, y) 处的流行度. p_i 表示当前时刻媒体片段 i 在任意位置的流行度.

定义 2 媒体片段 i 的缓存密度是指单位面积内媒体片段 i 的副本个数. t 时刻媒体片段 i 在位置 (x, y) 上的缓存密度表示为 $\rho_i(x, y, t)$. 简单起见, $\rho_i(x, y)$ 表示当前时刻媒体片段 i 在位置 (x, y) 处的缓存密度. ρ_i 表示当前时刻媒体片段 i 在任意位置的缓存密度.

获取流媒体片段的代价包括搜寻代价和传输代价.在非结构化的网络中,常用泛洪搜寻方式^[2,5],搜寻代价取决于搜寻范围.传输代价与传输距离直接相关,正比于请求节点到距其最近的缓存节点的距离.因为媒体数据包比询问包大得多,所以总的代价主要取决于传输代价.根据以上定义,如果某处媒体片段 i 的空间流行度为 p_i ,缓存密度为 ρ_i ,则即获取媒体片段 i 的代价正比于 $1/\sqrt{\rho_i}$.因此缓存优化问题可以表示为

$$\min F(\rho_i) = \sum_{i=1}^M \frac{p_i}{\sqrt{\rho_i}} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^M \rho_i = S \quad (2)$$

其中 S 为单位面积上的可用存储空间.采用 Lagrange 乘数法求解可以得到

$$\rho_i = \frac{S}{\sum_{j=1}^M p_j^{2/3}} p_i^{2/3} \quad (3)$$

定义缓存密度优化因子 $\phi = \frac{S}{\sum_{j=1}^M p_j^{2/3}}$,则最优缓存

密度可表示为

$$\rho_i = \phi p_i^{2/3} \quad (4)$$

4 缓存副本可靠性分析及补偿算法

在非结构化的无线 Mesh 网中,节点都是独立自主的,它们可以自由移动,也可以随意开关机.而且节点间的链路可能因为无线干扰或者其他意外原因随时断开.因而节点是不稳定的,缓存在单个节点上的副本也是不稳定的.此外,媒体副本还有可能被删除以腾出空间来放其他的媒体片段.所以为了确保在相应位置有足够多的可用副本,就应该不断地复制新副本来补偿丢失的旧副本.

媒体片段副本被删除,或者所依附的节点关机,或者所依附的节点移到足够远的界外,该副本就不可用了.一个副本不可用了也就意味着该副本消亡了.一个媒体片段所有副本的缓存状况可以用 G/G/ ∞ 队列来描述,如图 1 所示.队列 Q 的长度 n_0 是该媒体片段的副

本数. λ_i 表示对应事件在单位时间内发生的次数. τ 是媒体片段副本的平均生存期, 它取决于网络特性、节点生存期、移动特性、和缓存置换算法. R 是媒体副本的新增率, 即单位时间内增加的媒体副本数, 称为副本修复率.

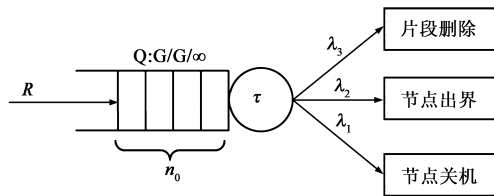


图1 缓存的媒体片段生存状况队列模型

根据 Jackson 定理^[14]可知, 系统达到稳定状态时, 上述参数满足下式:

$$R = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \quad (5)$$

根据 Little 公式^[14], 可以得到系统中该媒体片段副本的平均个数为:

$$n_0 = \tau R \quad (6)$$

由于无线网络链路特性, 有些媒体副本可能暂时不可访问. 假设链路暂时中断概率为 p_{temp} , 则可以访问到的有效副本平均个数为

$$\bar{n} = n_0(1 - p_{\text{temp}}) \quad (7)$$

联合式(6)和式(7), 可得

$$R = \frac{\bar{n}}{(1 - p_{\text{temp}})\tau} \quad (8)$$

$\bar{n}$ 实际上就是该媒体片段在相应区域的可靠副本数的期望值. 式(8)表明副本修复率主要取决于所期望的副本个数和副本的平均生存期. 若给定面积为 A_0 的一小块区域, 根据式(4), 则媒体片段 i 的可靠副本个数在这一小块区域上的期望为

$$\hat{n}_i = A_0 \rho_i = A_0 \phi p_i^{2/3} \quad (9)$$

结合等式(8)和(9), 对于面积为 A_0 的一小块区域, 媒体片段 i 的修复率为

$$R_i = \frac{A_0 \phi p_i^{2/3}}{(1 - p_{\text{temp}})\tau} \quad (10)$$

因为单位时间内媒体片段 i 在面积为 A_0 的区域内被请求 $A_0 p_i$ 次, 则归一化修复概率为:

$$\gamma_i = \frac{R_i}{A_0 p_i} = \frac{\phi}{(1 - p_{\text{temp}})\tau p_i^{1/3}} \quad (11)$$

归一化修复概率 γ_i 表明, 为补偿副本动态性, 节点接收到媒体片段 i 后应该缓存该媒体片段副本的概率.

5 参数评估算法

从以上的分析可以知道, 要优化副本缓存分布需要及时获知各媒体片段副本的平均生存期、各媒体片段的空间流行度及其副本缓存密度、节点能够贡献出

来的缓存资源状况、无线链路状况等. 其中重点是副本平均生存期的评测, 以及副本缓存密度和流行度的空间分布的评测. 节点资源状况和无线链路状况参数变化相对比较小时, 本文中假设这两个参数已知.

5.1 生存期评估算法

研究表明节点的生存期和副本的生存期服从参数为 α 和 β 平移的 Pareto 分布^[11,12]. 生存期 $life$ 的概率累积分布函数可表示为

$$F(life) = 1 - (1 + \frac{life}{\beta})^{-\alpha}, \alpha > 2 \quad (12)$$

平均生存期为

$$E(life) = \frac{\beta}{\alpha - 1} \quad (13)$$

在较大规模的系统中维护一定数量的副本是个新旧不断更替的过程, 可以近似地用更新过程描述. 参照文献[14], 如果生存期的累积分布函数为 $F(x)$, 则年龄的累积分布函数为

$$F_A(x) = \int_0^x (1 - F(z)) dz / E[x] \quad (14)$$

由式(12)、(13)和(14)得年龄 age 的累积分布函数为

$$F_A(age) = 1 - (1 + \frac{age}{\beta})^{-(\alpha-1)} \quad (15)$$

进一步可以计算得年龄的均值为

$$E(age) = \frac{\beta}{\alpha - 2} \quad (16)$$

比较式(13)和式(16)得

$$E(life) = \frac{\alpha - 2}{\alpha - 1} E(age) \quad (17)$$

所以, 如果知道平均年龄和 α 就可以推知平均生存期. 为了便于估算, 将式(16)代入式(15)可得

$$F_A(E[age]) = 1 - \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha - 2} \right)^{-(\alpha-1)} \quad (18)$$

式(18)表示了 $F_A(E[age])$ 与 α 的对应关系. 不难证明 $F_A(E[age])$ 与 α 是一一对应的关系. 如果已知 $F_A(E[age])$, 则可通过求解式(18)获得 α .

假设采样获得 m 个副本年龄 $age_i, i = 1, 2, \dots, m$, 则

$$E[age] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m age_i \quad (19)$$

$$F_A(E[age]) = \frac{1}{m} \left(\sum_{\forall i, age_i \leq E[age]} 1 \right) \quad (20)$$

相对于直接评测副本的生存期来讲, 评测年龄分布要容易多了. 但是求解式(18)是比较复杂的, 在实际系统中可以用查表法轻松获得.

5.2 参数评估的实现机制

为了配合副本生存期的估算, 节点在缓存副本的

同时记录副本生成时间. 节点收到请求后, 如果它有对应的副本, 就计算这个副本的年龄, 并将年龄值插入到返回的应答消息中. 因为无线链路的广播特性, 沿途的节点都会收到应答消息. 各个节点收到足够的应答消息后就可以根据 5.1 节讨论的方法统计估算副本的平均生存期.

点 (x, y) 处媒体片段 i 的流行度观察值应该是所有对媒体片段 i 的请求在该点的请求密度的叠加. 对媒体片段流行度的估算可以根据接收的询问包的个数及每个询问包的跳数来计算, 即

$$\hat{p}_i(x, y) = \sum_{k=1}^N \frac{r_{k,i}}{\pi d^2 H^2((x_k, y_k), (x, y))} \quad (21)$$

其中 $r_{k,i}$ 为单位时间内从节点 k 发出的对媒体片段 i 的请求数据包的总个数, $r_{k,i} \geq 0$. $H(A, B)$ 表示 A, B 两点之间跳数, d 表示一跳的平均欧氏距离. 一般而言, 在无线 Mesh 网中节点之间的距离基本上与这两点之间无线链路的跳数成正比^[2], 所以 $d \cdot H(A, B)$ 即为 A, B 两点之间的欧氏距离. 这里 A 和 B 是不同的节点, 即 $A \neq B$.

同样地, 对副本密度的估算可以根据接收的应答包的跳数来计算. 媒体片段 i 在点 (x, y) 处的缓存密度观察值为:

$$\hat{\rho}_i(x, y) = \sum_{k=1}^N \frac{c_{k,i}}{\pi d^2 H^2((x_k, y_k), (x, y))} \quad (22)$$

其中, $c_{k,i} = \begin{cases} 1, & n(k) \text{ 缓存片段 } i \\ 0, & n(k) \text{ 没有缓存片段 } i \end{cases}$

为了减小计算的额外开销, 这些参数的评估并不需要无时不刻地进行, 只需周期性地进行的即可, 比如每 30s 一次, 而且每个节点也不需要同步. 此外, 为了进一步减小系统开销, 搜寻范围还可以根据相应的副本缓存密度估算值动态调整.

6 副本复制策略

副本复制算法如图 2 所示. 当节点接收到媒体片段 i , 它首先确定要缓存该媒体片段的概率 CR , 如图 2 第 3~8 行所示. 当该媒体片段副本密度低于期望值时, CR 取较大的值 $p_i/P + \gamma_i$, 以使副本缓存密度快速趋于理想分布. 其中 $P = \sum p_i$, γ_i 是归一化修复率, 可以通过式(11)计算得到. 相反, 当该媒体片段副本密度大于等于缓存密度期望值时, CR 仅为修复率 γ_i , 即新增副本仅为弥补副本不稳定性造成的损失, 以避免副本更替过快.

第二步就是以概率 CR 来缓存媒体片段 i , 如图 2 第 11~16 行所示. 如果决定缓存该媒体片段, 但是没有足够的缓存空间, 那么就必须移除一些旧媒体片段副本. 如图 2 第 12~14 行所示, 具有最小 p_j/ρ_j' 值的媒体片段副本会被优先移除, 其中 ρ_j' 表示该副本被移出后

对应的媒体片段的缓存密度观察值. p_j/ρ_j' 越小, 意味着该片段流行度 p_j 较小, 而且即使本地的副本移出后该区域的缓存密度 ρ_j' 依然较大. 将具有最小 p_j/ρ_j' 值的媒体片段副本先移出, 实际上也是让缓存密度过大的片段让出空间来给流行度高的片段.

```

1 //Upon receiving segment i
2
3 // First; Determine the ratio at which the new segment is cached
4 If  $\rho_i \geq \phi p_i^{2/3}$  then
5      $CR = \gamma_i$ ;
6 Else
7      $CR = p_i/P + \gamma_i$ ;
8 End if;
9
10 //Second: Replicate the segment at the possibility CacheRate
11 If  $\text{Random}(0,1) \leq \text{CacheRate}$  then
12     Do while (free storage size < size of segment i)
13         Remove segment j such that  $p_j/\rho_j'$  is the smallest;
14     End do;
15     Replicate segment i;
16 End if.
```

图 2 复制策略

有两种实施方式: 仅请求节点执行的缓存优化策略(简称 EST_R)和全节点执行的缓存优化策略(简称 EST_A). 在 EST_R 中只有请求节点执行缓存算法, 而在 EST_A 中所有收到数据的节点都执行缓存算法. EST_R 只利用了少部分节点的缓存资源, 而 EST_A 则利用了更多节点的缓存资源. EST_R 实施起来简单, 只需在应用层实现, 对中间节点则是透明的; 而 EST_A 则需要中间节点执行跨层操作, 在转发的媒体数据的同时, 还要作缓存决策, 并要将要缓存的媒体片段从网络层传到应用层.

7 性能分析及讨论

7.1 仿真环境及设置

无线 Mesh 网分布在二维平面上, 节点独立自主, 节点生存期的分布服从 Pareto 分布. 单跳平均传输半径为 40m. 网络连通性不是本文的研究重点, 因此本文设定所有节点之间都可以直接或间接通信. 系统中总共有 1000 个同等大小的媒体片段. 每个节点的缓存容量为 10 个媒体片段. 媒体片段流行度在空间上并非均匀, 有几处随机选取的热点. 热点中心的流行度也是随机选取, 但是媒体片段的总体流行度分布服从 zipf 分布^[2,15].

$$p_i = Ci^{-\theta} \quad (23)$$

其中, θ 为 zipf 分布的倾斜因子.

7.2 生存期评估性能

在仿真分析中令 Pareto 分布的倾斜因子 α 和平均

生存期取不同的值,待系统运行一段时间趋于平稳后,随机抽取 50 个样本,并计算平均生存期.图 3 是一组实验结果.从图中可以看出评估误差总体上只有 20% 左右.而且对于较大的 α ,评估误差更小.这是因为当 α 较小时,生存期取值比较分散,而 α 较大时,生存期取值更趋集中.

对于流媒体应用,倾斜因子 α 的典型值约为 3.5^[12].图 4 是 $\alpha = 3.5$ 时,样本数分别为 40, 80, 120, 160, 200 时生存期评估情况.图 4 表明一般情况下样本数越多,评估误差越小.

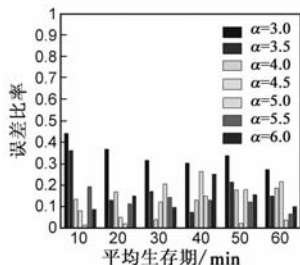


图3 不同 α 条件下生存期评估性能 (样本数=50)

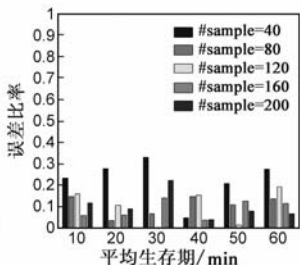


图4 样本数与生存期评估性能 ($\alpha=3.5$)

图 3 和图 4 中也有少量的评估值误差异常大,违背以上总结的规律.这是因为 pareto 分布是重尾分布,总有一些样本的生存期偏离平均值很大,当抽取到这样的样本时就会产生较大的评估误差.特别是当 α 较小,样本数也比较少的时候,生存期取值分布不够集中,评估误差会较大.在实际的系统中参数评估是不断反复执行的,可以在多次评估的基础上通过取平均值来获得较精确的结果.

本算法的前提是系统中节点数基本稳定,即在线节点新生率和失效率基本相同,而且节点数目比较大.所以当节点数目比较少,或在线节点突然增多或突然减少时,评估误差会比较大.节点数较少的情况,共享缓存意义并不大,所以不必细致考虑这种情况.对于在线节点突然大幅增多或突然大幅减少时的情况,可以根据节点失效率与新生率的比值适当校准.在线节点数突然大幅增多会导致采样获取的平均年龄比稳态时的平均年龄小,所以平均年龄要适当放大一些再估算平均生存期.相反,在线节点数突然大幅减少时,采样获取的平均年龄比稳态时的平均年龄大,所以平均年龄要适当减小一些再估算平均生存期.具体的细节将在后续的基于实际无线 Mesh 网络的研究中进一步完善.

7.3 动态性补偿缓存分析

为表述方便,以下将本文所提出的基于在线评估的动态补偿缓存策略简称为 EST.作为对比,本文还在同样的条件下考察了另外两种没有动态性补偿的全分布式缓存优化策略:正比贪婪缓存策略(简称 Prop-

Based)^[5,6]和基于获取代价的均衡优化策略(简称 Cost-Based)^[2].PropBased 要求各节点每收到一个新片段就缓存下来,如果空间不够了就采用 LRU (Least Recently Used) 置换策略将老片段副本移除.在 CostBased 策略中,节点根据获取片段的代价设定各片段的权值,并根据权值的大小判决是否缓存相应的片段.

与 EST_R 和 EST_A 对应,仅请求节点实施的 PropBased 策略和 CostBased 策略分别标记为 PropBased_R 和 CostBased_R,全路径节点实施的 PropBase 策略和 Cost-Based 策略分别标记为 PropBased_A 和 CostBased_A.

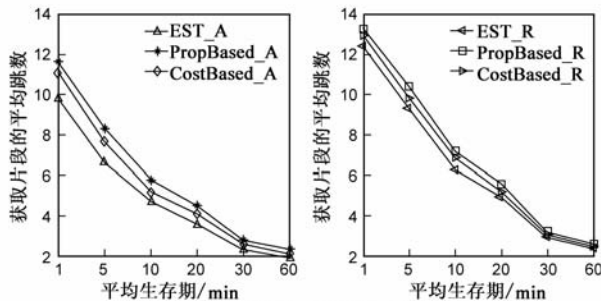


图5 获取片段的平均跳数对比 ($\theta=0.9$)

图 5 比较了在不同平均生存期下采用不同缓存策略获取片段的平均跳数.图中显示随着平均生存期增长,所有算法成功获取片段的平均跳数都明显减小.在相同的平均生存期下,全径节点执行缓存算法的策略要优于只有请求节点执行缓存算法的策略,因为全径节点执行缓存的策略总体上增加了可用缓存空间,缓存在系统中的媒体片段副本数也增加了.从图中还可以看出,采取了动态性补偿的 EST 策略明显优于没有动态补偿的 PropBased 策略和 CostBased 策略,特别是动态性较大时.这是因为 EST 在决定是否缓存某个片段时不仅考虑了已有副本密度偏离理想分布的情况,有的放矢,避免了不必要的副本复制;而且基于预测的动态性补偿策略能够对副本缓存的变化进行较为准确的感知和补充,降低了各节点更新副本的频率.在 PropBased 策略中各节点独立贪婪地缓存片段,由于缺乏对缓存状况和更迭方面的评估,有些被缓存的片段很快就被移除,从而造成了实际副本分布与理想分布的偏离,从而导致平均获取跳数较大.CostBased 的基于获取代价的缓存概率决策机制在一定程度上反映了局部副本分布情况,但由于缺少对副本稳定性的评估,所以在动态性较强时,片段获取跳数依然较大.

在平均寿命为 5min 的情况下,采用不同缓存策略时系统中各个媒体片段副本数的分布情况如图 6 和图 7 所示.为了更清楚,图中还给出了采用 Matlab 拟合的采用不同缓存策略时系统中各个媒体片段副本数的分布曲线.图 6 是全径节点执行缓存的情况.由于采取了

动态性补偿和密度优化的置换策略,采用 EST_A 时系统中最流行的一些片段的副本数比采用 PropBased 和 CostBased 时相应片段的副本数少,而一些流行度低的片段的副本数反倒比采用 PropBased 和 CostBased 的多一些.这正是 EST_A 平均获取跳数的少的一个重要原因.图 7 显示在仅有请求节点执行缓存算法的策略中,缓存覆盖的片段范围明显减少,这主要是缓存总空间减少的原因.因为缓存空间有限,EST_R 策略优先满足了流行度高的片段的缓存需要,所以采用 EST_R 时流行度最高的一些片段的副本数则比采用 PropBased 和 CostBased 时多一些.

总之,EST 倾向于优先满足流行度较高的片段,又尽量避免流行度较高的片段过度缓存,从而使得缓存资源得到了优化分配.

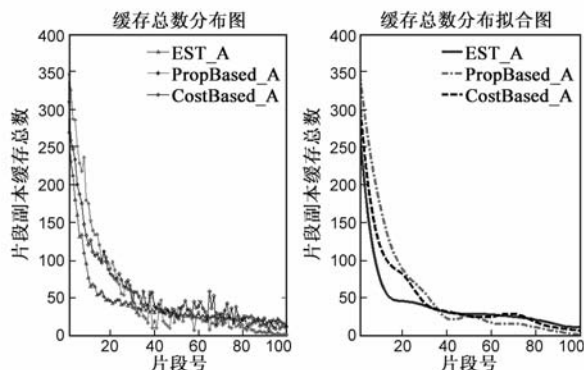


图6 不同缓存策略全路径节点执行时副本数($\theta=0.9$)

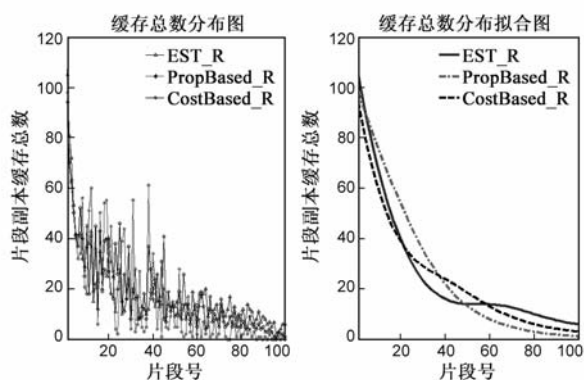


图7 不同缓存策略仅请求节点执行时的副本数($\theta=0.9$)

8 总结

无线 mesh 网具有良好的自组织性,是一种能覆盖较大区域的新型无线宽带接入网技术,但是无线 Mesh 网中单个无线节点的计算能力和存储资源都非常有限,而且节点动态性也较大.针对这些问题,本文提出了基于副本稳定性补偿的缓存优化算法,以及与之配套的参数在线评估算法.实施这些算法和策略既不需要增加复杂的设施,也不需要增加太多的额外负荷,具有较高的效率.

本文的工作主要还是基于理论分析的,和实际网络相结合还有许多问题需要进一步研究.此外,在后续工作中还将结合 MDC 多描述编码/FGS 多粒度编码以及多路径传输来进一步研究优化播放连续性和平滑性的分布式缓存策略.

参考文献

- [1] Ian F Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang. Wireless mesh networks: a survey[J]. Computer networks, 2005, 47(4): 445 – 487.
- [2] Shudong Jin, Limin Wang. Content and service replication strategies in multihop wireless mesh networks[A]. Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Modeling, Analysis And Simulation of Wireless And Mobile Systems[C]. New York: ACM Press, 2005. 79 – 86.
- [3] Jing Zhao, Ping Zhang, Guohong Cao, Chita R Das. Cooperative caching in wireless p2p networks: design, implementation, and evaluation[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2010, 21(2): 229 – 241.
- [4] 杨戈, 廖建新, 朱晓民, 樊秀梅. 流媒体分发系统关键技术综述[J]. 电子学报, 2009, 37(1): 137 – 145.
YANG Ge, LIAO Jianxin, ZHU Xiaomin, FAN Xiumei. Survey of key technologies of the distribution system for streaming media[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(1): 137 – 145. (in Chinese)
- [5] Edith Cohen, Scott Shenker. Replication strategies in unstructured peer-to-peer networks[A]. Proceedings of the 2002 SIGCOMM Conference[C]. New York: ACM Press, 2002. 177 – 190.
- [6] Saurabh Tewari, Leonard Kleinrock. Proportional replication in peer-to-peer networks[A]. Proceedings of IEEE Infocom[C]. UAS: IEEE Press, 2006. 1 – 12.
- [7] Mauro Sozio, Thomas Neumann, Gerhard Weikum. Near-optimal dynamic replication in unstructured peer-to-peer networks [A]. Proceedings of ACM PODS08 [C]. New York: ACM Press, 2008. 281 – 290.
- [8] Ming Zhong, Kai Shen, Joel Seiferas. Replication degree customization for high availability[A]. Proceedings of ACM EuroSys'08[C]. New York: ACM Press, 2008. 55 – 68.
- [9] 孙海燕, 王晓东, 周斌, 等. 基于存储联盟的双层动态副本创建策略[J]. 电子学报, 2005, 33(7): 1221 – 1226.
SUN Haiyan, WANG Xiaodong, ZHOU Bin, et al. The storage alliance based double-layer dynamic replica creation strategy [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(7): 1221 – 1226. (in Chinese)
- [10] 朱晴波, 乔浩, 陈道蓄. 分布式多媒体存储系统中的全局缓存管理[J]. 电子学报, 2002, 30(12): 1832 – 1835.
ZHU Qingbo, QIAO Hao, CHEN Daoxu. Global memory

management in distributed multimedia storage systems[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2002, 30(12): 1832 – 1226. (in Chinese)

- [11] Derek Leonard, Zhongmei Yao, Vivek Rai, Dmitri Loguinov. On lifetime-based node failure and stochastic resilience of decentralized peer-to-peer networks [J]. *IEEE/ACM Transactions on networking*, 2007, 15(5): 1 – 13.
- [12] Ye Tian, Di Wu, Guangzhong Sun, Kam-Wing Ng. Improving stability for peer-to-peer multicast overlays by active measurements[J]. *Journal of Systems Architecture*, 2008, 54(1 – 2): 305 – 323.
- [13] Alessandro Duminuco, Ernst Biersack, Taoufik En-Najjary. Proactive replication in distributed storage systems using machine availability estimation [A]. *Proceedings of the 2007 ACM CoNEXT Conference* [C]. New York: ACM Press, 2007. 1 – 12.
- [14] Sidney Resnick. *Adventures in Stochastic Processes* [M]. Boston: Birkhäuser, 2002.
- [15] Xu Du, Tai Wang, Zongkai Yang, Jiang Yu, Wei Liu. Variable rate caching for video delivery in heterogeneous environment [A]. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications* [C]. USA: IEEE Press, June 2006. 11 – 15.

作者简介



杜 旭 男, 1969 年 12 月生于湖北. 2002 年毕业于华中科技大学获博士学位. 主要研究方向多媒体网络技术及应用, 无线网络技术及应用, 分布式网络系统及应用.

E-mail: duxu@hust.edu.cn



左东红 女, 1975 年 12 月生于湖南. 2007 年毕业于华中科技大学获博士学位. 主要研究方向多媒体网络及应用.

E-mail: sixizuo@hust.edu.cn

陈 俊 男, 1984 年 10 月生于江苏. 华中科技大学电子与信息工程系博士研究生. 研究方向是多媒体网络通信.

江诗怡 女, 1987 年 7 月生于湖北. 华中科技大学电子与信息工程系硕士研究生. 研究方向是多媒体网络通信.