



基于 LTE 资源块感知的自适应无线流媒体系统

蔡秉江

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要: 自适应流媒体技术用户体验的好坏, 很大程度上由流媒体应用对端到端带宽估计的准确度决定, 而在高度动态的 LTE 网络中, 对带宽的估计极具挑战。设计并实现了一种基于 LTE 资源块感知的自适应无线流媒体系统, 系统中的 LTE 资源块监测模块监测当前蜂窝小区范围内的物理层资源占用情况; 速率映射机制据此将视频分片下载速率映射为当前可用带宽; 码率自适应算法结合当前 LTE 网络中潜在可用带宽和当前视频缓存状况, 选择最合适的码率版本, 以实现视频质量和播放卡顿之间的折中。在原型系统上的测试实验中, 与两种基线码率自适应算法进行对比, 所提方法在保持极低的播放卡顿率的情况下获得了最高的平均视频码率, 有效提升了用户的视频观看体验。

关键词: LTE; 自适应流媒体; MPEG-DASH; USRP

中图分类号: TN98

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021001

LTE resource-aware dynamic adaptive wireless multimedia streaming system

CAI Bingjiang

China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China

Abstract: The quality of user experience in adaptive video streaming, to a large extent, depends on the accuracy of the end-to-end bandwidth estimation. However, bandwidth estimation is very challenging in highly dynamic LTE network. LTE resource-aware dynamic adaptive wireless multimedia streaming system was designed and implemented in which the LTE resource block monitor module keeps monitoring the cell-wide physical layer resource utility. The rate scaling mechanism mapped the throughput to an estimation of available bandwidth and the rate adaption algorithm selected the most appropriate representation combining current available bandwidth with buffer state and played a trade-off between video quality and the risk of stalling. The experimental results on the prototype system show that comparing with the two baseline algorithms, the proposed system achieves the highest average video bitrate while maintaining a fairly low stalling rate, and effectively enhances the quality of experience.

Key words: LTE, adaptive streaming, MPEG-DASH, USRP



1 引言

随着移动互联网技术的迅猛发展,截至2020年,全球移动视频流业务数据占据了全球移动数据的78%以上,在人们的生活、娱乐、安防领域扮演着越来越重要的角色^[1]。为了满足爆炸式增长的通信量需求,网络提供商推出了LTE蜂窝网服务,其能提供300 Mbit/s的峰值下行速率,然而在用户拥塞的情况下视频播放QoE体验仍然不是很令人满意。有调研结果显示,在LTE网络拥塞的情况下,移动视频播放的平均卡顿时间长达7.5~12.3 s/min^[2]。

上述两种现象是矛盾的:视频质量的提升远不及带宽水平的提升,说明视频流应用未充分利用LTE带宽,即带宽低估;视频播放卡顿则是带宽高估造成的。其根本原因在于:视频流应用无法准确估计当前可用网络带宽和应对未来带宽的波动,这个问题在端到端时延较大的移动通信网络中尤为显著。

学术界及工业界对基于移动互联网下的流媒体自适应技术开展了大量研究工作,参考文献[3]针对HTTP流媒体业务提出了基于缓冲区等级自适应的码率切换算法,但对缓冲区等级的判定未作讨论;参考文献[4]针对具有不同流量特征业务的服务质量需求,根据用户缓冲区以及基站硬件资源的使用情况,通过缩减基站使用带宽以降低系统通信能耗;参考文献[5]结合不同视频类型设计了相应的用户体验质量效用函数,使用强化学习算法训练模型A3C,实现频数类型相适应的码率自适应算法。

为充分挖掘LTE网络应用场景中流媒体业务物理层频谱资源,本文提出了利用软件定义无线电(software defined radio, SDR)技术手段将频谱资源探测落实到LTE资源块颗粒度的感知上,结合自适应流媒体技术,让用户在LTE网络环境下获得流畅且尽可能高质量的视频观看体验。

2 系统方案

本文基于HTTP的自适应流媒体协议(dynamic adaptive streaming over HTTP, DASH)下的视频服务,用户设备上的DASH视频客户端根据网络带宽状况,向视频服务器请求合适码率的视频分片。通常来说,DASH客户端需要根据其下载的视频分片的下载速率来估计当前可用带宽。然而,由于LTE网络中存在较大的端到端时延,使用下载速率作为可用带宽的估计可能会极大地低估网络带宽,除非视频分片足够大以至于能完全占用端到端的带宽。另一方面,DASH根据历史带宽记录预测未来的带宽,LTE网络带宽的波动性,可能造成带宽高估进而导致视频播放卡顿。

为了解决上述挑战,本文对LTE物理层的网络带宽利用情况进行了深入探究。由于在指定的一段时间区间内对于指定的LTE基站,用于下行链路传输的可用无线资源总是已知的,网络带宽端到端的瓶颈在于接入链路^[6],因此LTE网络的特征决定了解决该问题的关键在于下行链路的接入带宽。

根据以上分析,本文提出了基于LTE资源块感知的自适应无线流媒体系统,该系统基于以客户端为中心的视频传输架构,其中视频传输架构兼容MPEG-DASH(moving picture experts group-dynamic adaptive streaming over HTTP)标准,该指定LTE基站服务场景中的用户设备能监测小区内的物理层资源利用情况并实时将其映射为潜在可用网络带宽。

系统提出的资源监测机制利用LTE用户设备实现精确、有效的频谱感知能力。通常获取资源占用情况的直接方法是解码基站的全部控制信号,然而这种方法效率低且可扩展性差,它要求每个用户一直监测控制信道并解码发送给所有其他用户的控制信息,而当前LTE标准下的纠错机

制无法保证用户能正确解码全部控制信息。本系统基于软件定义无线电技术,利用 LTE 资源架构在时域与频域分布有序的特点来解决该问题,用户通过检测 LTE 信号能量来判断资源块利用情况,无须解码发送给其他用户的下行链路控制信息。在获得物理层剩余可用的 LTE 资源块比率后,系统按比例将下载速率映射为潜在可用带宽,这个带宽值将被应用层用来进行码率自适应。从 DASH 用户的角度来看,为了保证视频在最短卡顿时间的同时最大程度地提高带宽利用率,自适应逻辑模块需要准确地预测将来的带宽变化情况,以实现视频质量和播放卡顿间的折中。

3 关键理论与技术

3.1 MPEG-DASH

为了让用户得到更加多元化的服务并保证用户得到与自身当前的网络状况和终端性能相适应的视频服务,在 HTTP 流的基础上衍生出自适应 HTTP 流。现有主流的自适应流技术,即苹果公司的 HLS(HTTP live streaming)、微软公司的 Smooth Streaming 和 Adobe 的 HDS(HTTP dynamic streaming),彼此互不兼容,无法实现技术互通。为了解决这一割裂的局面,MPEG 组织与 3GPP 联合提出了 MPEG-DASH 协议。

MPEG-DASH 技术框架包括流媒体服务器与 DASH 客户端,流媒体服务器负责存储和管理 DASH 媒体内容并响应客户端的 HTTP 媒体服务请求;DASH 客户端负责以标准 HTTP 与服务器交互,获取和解析媒体表示描述(media presentation description, MPD)文件、构建与管理媒体文件下载请求、解码和输出媒体内容,同时也负责响应事件,实现与流媒体服务相关的应用。首先媒体内容部署在流媒体服务器上,按内容的存储方式分为 MPD 与媒体分片文件两部分。当用户发起内容播放请求时,客户端首先向服务器请求、下载与解析 MPD 文件,获取节目码率等信息,然

后根据实际的网络带宽情况向服务器请求某种码率的媒体分片文件。在视频的播放过程中,客户端会根据带宽情况选择不同码率的媒体分片以实现自适应切换^[7]。

3.2 LTE

LTE 是由 3GPP 组织制定的 UMTS 技术标准的长期演进。LTE 系统引入了 OFDM(正交频分复用)和 MIMO(多输入多输出)等关键技术,显著增加了频谱效率和数据传输速率。根据双工方式不同,LTE 系统分为 FDD-LTE(频分复用)和 TDD-LTE(时分复用),二者的主要技术区别在空口的物理层(帧结构、时分设计、同步等)上。

LTE 下行信道被分为固定的时间帧,其时间长度为 10 ms。每个时间帧被分为 10 个子帧,分别为 1 ms 且包括两个时隙(0.5 ms)。基站使用 OFDM 技术来传输子帧,其中子帧在时间和空间上将无线电资源分割成网格,每个网格(占据 $15\text{ kHz} \times 66.7\text{ }\mu\text{s}$)被称为一个资源单元(RE)。基站的一个物理资源块(PRB)包含多个资源单元。每个 PRB 占据时域上半个子帧和频域上 12 个 OFDM 子载波(180 kHz)^[8]。

基于用户的信道条件和通信量需求,基站动态地分配无重叠的 PRB 集给不同用户,资源分配策略是网络提供商制定的。

3.3 基于 MATLAB 与 USRP 的软件无线电平台

软件无线电这个无线通信的新概念是在 1991 年由 Joseph Mitola 正式提出的。它是一种可重构或者可重新编程的无线电系统,即可在其系统硬件不变更的情况下,在具体的应用中通过软件加载来完成需要的功能。这一思想的提出和发展是为了解决无线通信领域出现的多种标准间激烈竞争、多种体系并存的难题。

软件无线电已有多种开源及商业的系统可用于通信系统开发和原型设计,例如开源软件包 GNU Radio(开源软件无线电)和 USRP(universal software radio peripheral,通用软件无线电外设)

组成的基于 PC 的软件无线电系统平台。在由 MATLAB 和 USRP 组成的软件无线电平台里, 低速率基带信号的处理由 MATLAB 负责, USRP 则作为无线电通信系统中射频前端和数字中频的部分, 负责对高速率信号进行处理。USRP N210 体系结构如图 1 所示。USRP N210 体系结构如图 1 所示, USRP 的结构体系中包括由负责高速率数字信号处理的 FPGA、负责数模信号之间相互转换的 DAC 与 ADC 器件等组成的母板以及负责处理射频信号的射频子板。从图 1 可以看到, 在实际的发送过程中, PC 将已经处理好的低速率基带信号通过控制芯片送到 USRP 板上, 其中 FPGA 对

信号进行可变速率的梳状内插,把信号从基带移至数字中频,实现数字上变频功能,然后经过 D/A 器件的转换,转入模拟域,再由射频子板进行模拟域的上变频,将信号从中频移到射频,最后经实际环境把射频信号发送出去。接收端完成的是一个基本相反的信号处理流程^[9]。

4 系统设计

4.1 系统框架

基于 LTE 资源块感知的自适应无线流媒体系统框架如图 2 所示,其主要包含两个部分: DASH 服务器和用户终端。

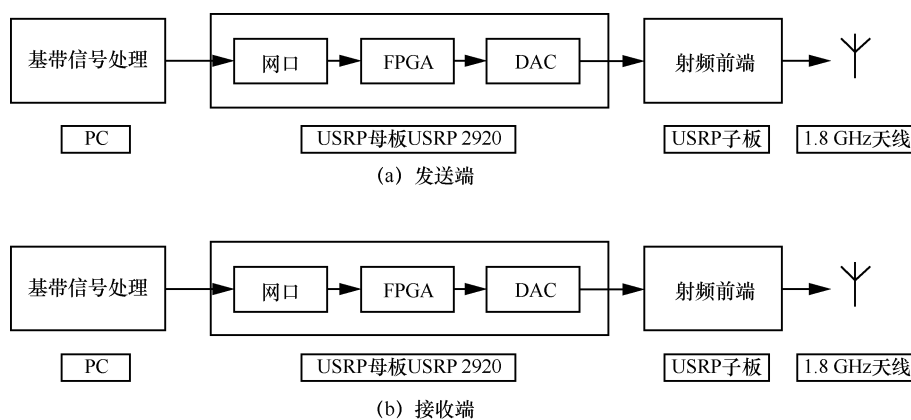


图 1 USRP N210 体系结构

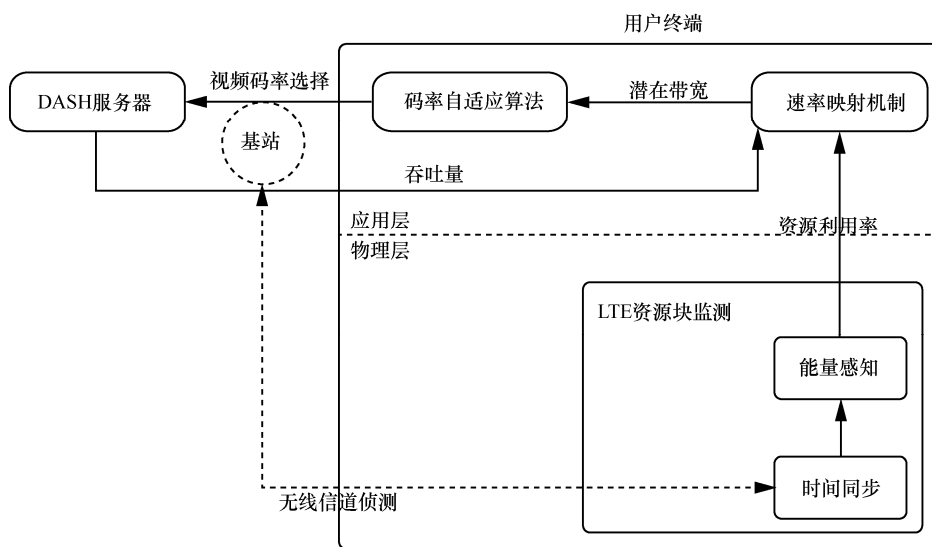


图2 基于LTE资源块感知的自适应无线流媒体系统框架

- DASH 服务器：该服务器拥有很多 DASH 视频数据集，数据集是由 2 s 长的视频片组成的。
- 用户终端：包含 3 个模块，分别为 LTE 资源块监测、速率映射机制以及码率自适应算法。

4.2 LTE 资源块监测

LTE 资源监测模块承担监测整个蜂窝小区内物理层资源块占用情况的任务。为了能够部署在用户终端设备上，该模块必须具备高度可靠、可实时执行的特点。因此，本文采用了基于能量的资源块监测方法。

4.2.1 资源块监测原理

能量检测法是基于检测信号强度的资源块监测法，可以是时域的能量检测也可以是频域的能量检测：时域能量检测是对时域信号进行采样取值，然后进行平方运算；频域能量检测就是首先进行 FFT 变换，再对频域信号取模值，然后通过平方运算观察其能量情况。随后将其与预先设定的阈值作对比，如果某个频率点处的能量大于阈值，认定该段频率被占用，如果某个频率点处的能量小于阈值，则认定该段频谱资源未被占用，进而能够很容易地得出当前频谱资源块利用率^[10]。

已有研究表明，能量检测是较好的检测方法，简单易行，复杂度比较低，虽然不是性能最好的方法，但却是较为理想和广泛应用的检测方法。能量检测的算法原理流程如图 3 所示。

判决器的阈值设置原理如下。

在 AWGN 信道下，能量检测的检测统计量 T 和 T 的统计分布可以表示为式 (1)：

$$T = \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) \sim \begin{cases} \chi_N^2, H_0 \\ \chi_N^2(2\gamma), H_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中， $x(n)$ 表示认知用户接收到的信号， N 代表信号采样点数， χ_N^2 表示自由度为 N 的中心卡方分布，非中心参数 γ 是次用户的接收信噪比。 H_0 表示频谱资源块未被主用户占用， H_1 则表示主用户占用该频谱资源块。由于采样点数一般比较大，可以近似认为检测统计量 T 近似服从正态分布，从而能量检测的虚警概率 p_f 可以表示为：

$$p_f = P(T > \lambda | H_0) = Q\left(\frac{\lambda - N}{\sqrt{2N}}\right) \quad (2)$$

其中， N 为采样点数， λ 为阈值， Q 为能量。由式 (2) 可得出检测概率 λ 的表达式为：

$$\lambda = Q^{-1}(p_f)\sqrt{2N} + N \quad (3)$$

因此，一旦给定出所需的虚警概率，即可求得此时对应的判决器阈值，进而将能量检测结果与该阈值进行比较来求得频谱资源块的利用率。

4.2.2 频谱感知实现

(1) 算法实现

步骤 1 信号的接收与基带转化。

本设计中所针对的信号为移动 4G 的 LTE 信号，信号所占用的频段为 1 880~1 900 MHz，带宽为 20 MHz。因此，使用 USRP 采集该信号时中心频率应该设置为 1 890 MHz，同时采样频率设置为 20 MHz，以检测到当前位置整个蜂窝小区 LTE 资源块利用情况。

信号接收：射频信号被接收后，射频子板对模拟信号进行滤波与下变频，将信号转移到基带，USRP 主板将获得的模拟基带信号进行采样，数字滤波，抽取得到上层需要的带宽和采样率的采样

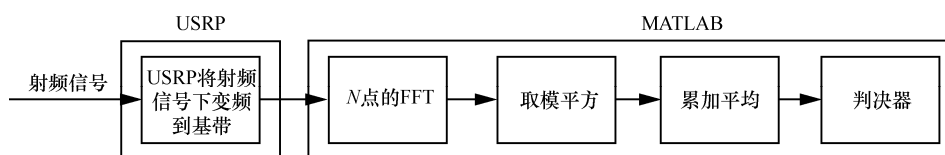


图 3 能量检测的算法原理流程



值然后通过吉比特网线将信号传递给 PC。

MATLAB 中的与 USRP 硬件相关参数控制代码如下:

```
hwInfo=info(H)
H.SampleRate=20 000 000;
H.CenterFrequency=1.89×109;
H.OutputDataType='double';
H.FrameLength=1 000;
H.Gain=30;
```

步骤 2 对基带信号的数据处理。

首先对信号的操作是快速傅立叶变换(FFT), 将信号从时域变换到频域然后取模并取实部, 即可得到这段时间内频谱资源块的利用情况, FFT 方法参数的设定方法如下: 假设采用点数为 N , 采样频率为 F_s , 则经过 FFT 之后, 某一点 n 的频率就应该表示为 $F_n = (n-1) \times F_s / N, n=1, \dots, N$ 。其中该频率下信号的幅度对应的点就是该点的模值除以 $N/2$ 。该部分的代码如下:

```
for time=1:1:100
hLogger = dsp.SignalSink;
for counter = 1:2 000
[data] = step(H);
step(hLogger, data);
end
y=real(abs(fft(hLogger.Buffer)));
end%让 USRP 每次采集固定长度的信号序列
并存储在一个 Buffer 内
y=hLogger.Buffer;
Y=fft(y,N); %对信号进行快速傅立叶变换
mag=abs(Y); %取模后得到的振幅值
n=0:N-1;
f=n×fs/N; %频率序列
```

步骤 3 能量检测部分: $m=N+\sqrt{2 \times N} \times \text{qfuncinv}(p_f)$; %根据式(2)设定阈值。

步骤 4 求每一区间的能量平均值 E 。

步骤 5 将能量统计值与阈值进行比较, 当能

量统计值大于阈值时表示该频谱资源块被占用。

(2) 频谱感知过程及分析

根据原理和方法, 在 MATLAB 上编好了频谱感知能量检测算法实现的代码, 用其对在真实信道中传输的信号进行了检测, 通过仿真得到的信号能量如图 4 所示。

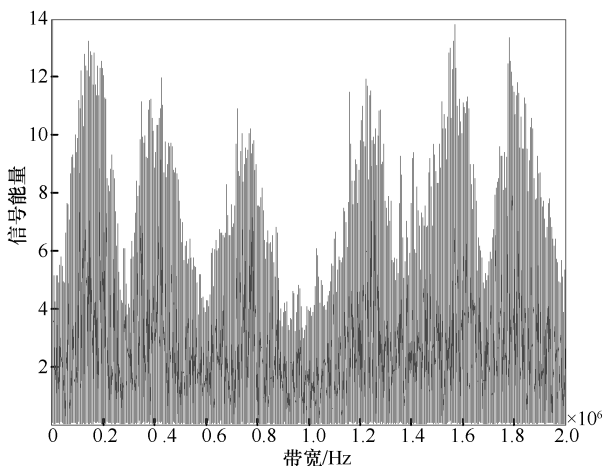


图 4 信号能量

首先, 求该信号频谱的包络: 将原数据分成等宽度的小段, 每段取一个最高点并连接起来, 进而得到包络检波的波形。信号频谱的包络如图 5 所示。

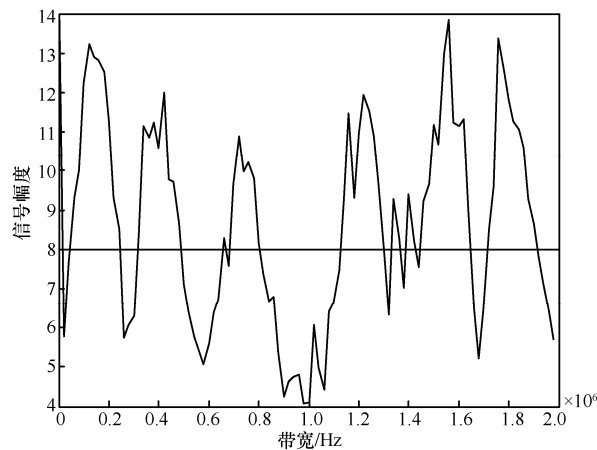


图 5 信号频谱包络

随后, 将包络后波形上的各点与经过计算所得的阈值进行比较, 即可求得当前 LTE 资源块的利用率。

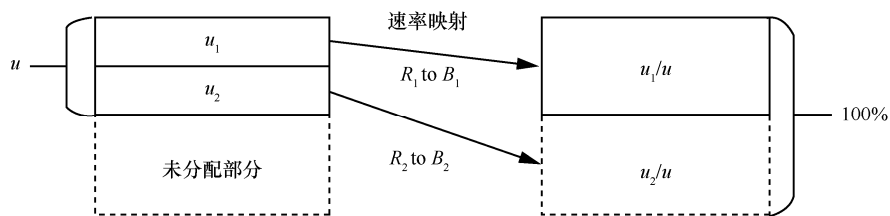
4.3 速率映射机制

在获得当前蜂窝小区的 LTE 资源块 (PRB) 的利用率后, 可以据此将下载速率映射为当前可用带宽, 避免将下载速率视为潜在可用带宽可能造成的带宽低估问题。

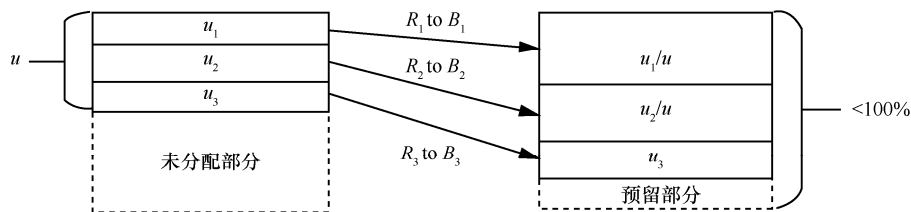
做此映射的前提是蜂窝网络中某用户的 PRB 利用率随着其下载速率的增长而成比例地线性增长, 直至耗尽潜在可用带宽。该假设可由以下两个事实支撑: (1) 端到端网络带宽的瓶颈在于 LTE 接入链路, 参考文献[11]证明了这一点; (2) 接入链路的容量是由比特率和整个小区的 PRB 利用率所共同决定的, 然而基站已经进行了码率适配来实现链路比特率的最大化, 那么小区中的额外可用带宽仅由剩余可用的 PRB 来决定。

基于上述条件, 设计了如下映射原则: 假设当前蜂窝小区内的 PRB 占用率为 u , 并且用户的下载速率 (某个视频分片的下载速率) 为 R , 在不高估当前带宽的前提下, 可以支持用户的 R/u 下载速率。从以下 3 种情况分析此原则的合理性。物理层感知的速率映射如图 6 所示。

(1) 蜂窝小区内只有 DASH 用户 (没有使用其他业务的用户)



(a) 只有DASH用户



(b) 与其他用户共存

图6 物理层感知的速率映射

首先, 假设基站只给一个用户服务, 即该用户可以使用所有未被占用的 PRB。假设在当前 PRB 使用率为 u 的情况下, DASH 用户的下载速率为 R , 那么当所有资源块都分配给该用户时, 其可以达到的下载速率即 $B = R/u$ 。下面考虑一种更复杂的情况, 当前蜂窝小区内有多用户 DASH 用户, 都将探测到相同的小区范围的 PRB 占用率 u 。假设用户 i 被分配了所有 PRB 中比例为 u_i 的 PRB, 该用户将使用 $1/u$ 进行映射, 可以看到即便小区内所有用户都进行该映射, 所得到总的 PRB 占用率也不会超过 100%: $u_i/u + (u - u_i)/u = 1$ 。可见, 本文所提的映射方法在没有高估 (过分利用) 带宽的情况下, 可以在保证小区通信链路稳定的前提下提高所有用户的视频码率, 图 6 (a) 可以说明此情形。

(2) DASH 用户和其他业务用户共存的情况

这种情况下, 对于 DASH 业务而言, 小区范围内的 PRB 占用率是持续高于带宽占用率的 (有些 PRB 被分配给了其他非 DASH 业务), 即便如此 DASH 仍然可以按设定来映射下载速率。如图 6 (b) 所示, 假设某个 DASH 用户 i , 其被分配了比例为 u_i 的 PRB, 进行映射后, 蜂窝小区范围



的 PRB 占用率为 $\sum u_i / u + (u - \sum u_i) \leq \sum u_i / u + (u - \sum u_i) / u = 1$ 。虽然在这种情况下, 一次映射后, 蜂窝小区的总体 PRB 占用率低于 100%, 但经过多次映射, 蜂窝小区的总体 PRB 占用率将会迅速爬升至 100%。另外, 对于蜂窝小区内进行其他业务的用户, 如果他们的通信需求不增加, 那么他们不会对小区内的 DASH 用户造成影响, 因为 DASH 用户进行的映射仅仅是试图利用那些未被利用的 PRB。如果在蜂窝小区总体 PRB 占用率达到 100% 的情况下, 其他业务用户产生了更多的通信需求, LTE 基站会启动其公平机制进行资源仲裁。值得注意的是, 这在无线通信中是一个普遍的问题, 并非本文设计本身造成的缺陷。

(3) 蜂窝小区 PRB 全部占用下, 新用户加入的情况

在现有用户已经耗尽蜂窝小区内所有 PRB 的情况下, 一个新用户试图加入网络获得服务, 此时, LTE 基站的公平机制将发挥作用, 该新用户将从没有资源开始到渐渐获得更多的 PRB 资源。在基站将 PRB 从原来的用户分配给新用户的过程中, 蜂窝小区整体的 PRB 占用率将一直保持 100%。因此, 在这种情况下, 本文所提的映射机制将不再放大用户处的下载速率, 进而不会造成带宽高估。同时, 由于 DASH 用户所得到的 PRB 数量减少了, 其下载速率会相应降低, DASH 客户端的码率自适应算法则会相应地选择更低码率版本的视频。

综上所述, 本文提出的已知小区范围 PRB 利用率为的情况下, 从下载速率到潜在可用带宽的映射是合理而且具有可操作性的。所提出的映射机制可以帮助蜂窝小区内的 DASH 用户迅速“耗尽”蜂窝小区内的无线资源, 从而更加高效地利用无线频谱资源。此外, LTE 基站的调度机制也为用户间的公平提供了保障, 而本文所提方法作为一种用户端的机制, 其对基站的公平保障机制

没有任何影响。

4.4 码率自适应算法

通过速率映射机制, 得到了目前 LTE 网络中潜在可用带宽, 据此, 码率自适应算法将为 DASH 用户选择最为合适的视频码率, 进而将未被利用的 LTE 资源块充分利用起来。在视频客户端缓存区完全饱满之前, 视频客户端都会持续请求后续的视频分片并存入缓存区中, 在每个分片下载进行前, 码率自适应算法都会得到本次下载应选择的分片码率。考虑视频播放过程中的卡顿会严重影响用户体验, 且卡顿时间较长时会出现严重的用户流失问题, 本文设计的码率自适应算法除了基于可用带宽进行码率选择, 还考虑当前的缓存情况, 以求在视频播放的流畅和视频质量之间达到一种理想状态。具体的码率选择过程如下。

if 当前缓存 < 1/3 总缓存

找到低于当前潜在可用带宽的次最高的码率版本, 选择其和上一分片所选择的码率中较小的那个码率作为下一分片的码率;

else if 当前缓存 > 2/3 总缓存

if 从上一决策时刻到这一决策时刻缓存是增加的, 找到低于当前潜在可用带宽的最高码率版本, 并选择比它更高的一个码率版本作为下一分片的码率 (如果是最高码率版本则选择最高的码率版本);

else

找到低于当前潜在可用带宽的最高码率版本, 并选择其作为下一分片的码率;

end

else

if 从上一决策时刻到这一决策时刻缓存是增加的

选择比上一视频片段所选择的码率高一个版本的码率作为下一分片的码率;

else

选择上一视频分片所选择的码率版本和低于当前潜在可用带宽的次最高的码率版本中的较小者作为下一片段的码率;

end

end

end

5 原型系统搭建与结果分析

5.1 原型系统搭建

本文设计并实现的原型系统是一个跨层测试平台,它主要包括3部分,分别为物理层的LTE资源块监测、应用层的速率映射机制和码率自适应算法。

物理层的LTE资源块监测部分采用NI-USRP 2920软件无线电外设来实现实时的资源块监测功能,同时使用MATLAB控制USRP,系统需要监测的带宽为20 MHz,其频率范围为1 880~1 900 MHz,所以设置USRP的采样率为20 MHz来监测目标带宽的信号。而LTE中每个时隙为0.5 ms,所以每次采集信号的时间为0.5 ms(即 10^4 个点)。经过FFT运算查看频谱时,每个采样点代表2 kHz的带宽是否被占用。最后利用频谱

能量与判决阈值对比,统计出频率占用率,并将该参数存进文本文件中,供系统中速率映射与码率自适应模块使用。

应用层的速率映射机制及视频码率自适应算法均由PC上的DASH视频客户端完成。本文所实现的原型系统基于开源多媒体框架GPAC项目^[12]完成,本文利用第4节提出的速率映射机制和码率自适应算法代替了其对DASH流媒体支持中的原生算法来进行视频码率选择,原型系统架构如图7所示。其中,链路传输时延设置为5 ms,预先为每个用户设定的目标缓存长度 b_{ref} 设置为0.5 s,自适应码率选择模块调整码率请求设置为 $\text{http_request}=\text{r_q/r_u}$ 。DASH客户端一次请求一个视频切片,每接收一个TCP段,便通过VLC播放器读取并解析。在GPAC项目的基础上,本文添加了软件无线电外部设备对当前LTE资源块使用情况进行了准确的监测与分析,进一步指导GPAC速率映射更加结合实际传输条件。

测试所使用的DASH流媒体来自知名CDN服务提供商Akamai,有线网络中的测试速率表明所选的测试视频流在有线网络部分不存在带宽瓶颈,这样可以保证后续测试中的带宽瓶颈仅存在

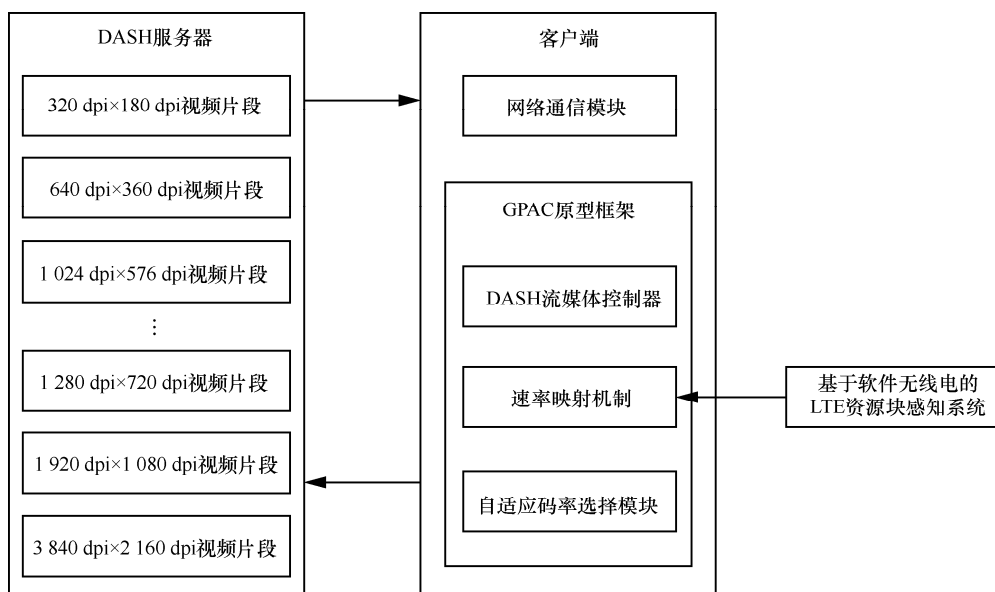


图7 原型系统架构



于无线接入网络部分。

系统测试使用的视频为一段长度为 10 min 34 s 的常用视频测试集：动画片《Big Buck Bunny》，在 Akamai 的服务器上共部署了 10 种不同的视频码率版本，具体码率和分辨率见表 1。

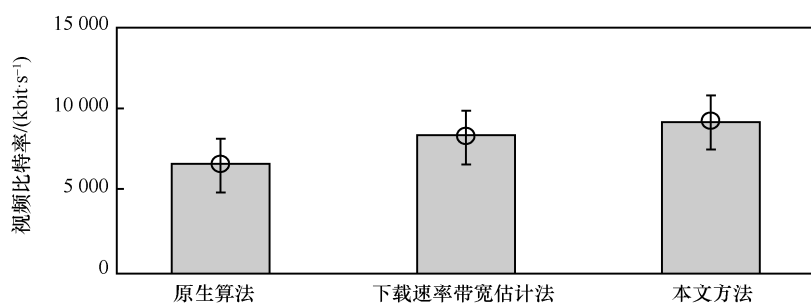
表 1 10 种不同的视频码率版本的《Big Buck Bunny》

版本	分辨率	码率/(bit·s ⁻¹)
1	320 dpi×180 dpi	254 320
2	320 dpi×180 dpi	507 246
3	320 dpi×180 dpi	759 798
4	640 dpi×360 dpi	1 013 310
5	640 dpi×360 dpi	1 254 758
6	768 dpi×432 dpi	1 883 700
7	1024 dpi×576 dpi	3 134 488
8	1 280 dpi×720 dpi	4 952 892
9	1 920 dpi×1080 dpi	9 914 554
10	3 840 dpi×2160	14 931 538

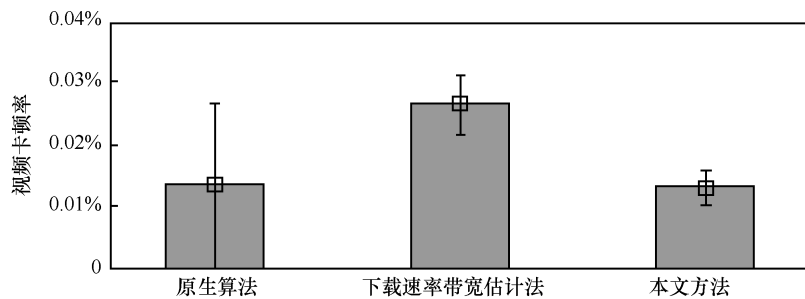
5.2 结果分析

本文选择了另外两种码率自适应算法作为对照，一种是开源项目 GPAC 的原生算法，其基本原理为将前面若干个视频分片下载速率的算术平均值作为可用带宽的估计；另一种则是利用上一分片的下载速率作为可用带宽的估计。共进行 5 组重复实验，每组对 3 个算法分别进行测试，测量指标包括视频平均比特率和视频卡顿率两个指标，其中视频卡顿率的定义为：卡顿总时长/视频总时长。实验数据如图 8 所示，其中柱状图顶部的误差棒指示 5 组实验的标准差。

在平均码率的表现上，所提方法相较于 GPAC 的原生方法提升了 41%，其原因是：使用历史下载速率的算术平均作为未来带宽的预测显然容易造成带宽低估，而所提方法中通过资源块利用率对下载速率进行映射的方式可以得到近乎真实的潜在可用带宽，使用该值来指导码率选择，可以更加有效地利用网络带宽，提升视频的平均码率；另外，相较于直接使用上一视频分片的下载速率作为可用带宽估计的方法较为激进，容错



(a) 比特率性能分析



(b) 卡顿率性能分析

图 8 实验数据

率较低的方法,所提方法在视频平均码率的表现上也小幅提升 9.8%。

在卡顿率的表现上,可以看出基于上一视频分片下载速率来做带宽估计和预测的方法不能较好应对 LTE 网络带宽波动的问题,而造成了较长时间的卡顿(所提方法降低了 52.2%的卡顿率),极大降低了用户体验;GPAC 项目使用的算术平均的方法可以降低出现视频卡顿的可能性,但其策略的本质是被动地牺牲码率来换取卡顿可能性的降低,但所提方法的卡顿率比其低 5.9%。所提系统结合缓存状态来自适应选择码率版本的策略,在缓存较多时激进,缓存位置较低时保守,很好地发挥了缓存区在抵抗无线网络带宽波动中的作用。从实际效果看,所提的系统在保证极低卡顿率的前提下(平均卡顿率为 1.3%),获得了三者中最高视频平均码率,明显提升了用户视频观看体验。

6 结束语

爆炸式增长的视频流占据了当前网络通信量的主体。然而,即使在 LTE 高带宽的条件下,现有的自适应流媒体协议仍然不能满足用户对视频 QoE 的需求。为了解决这个问题,本文提出了一种基于 LTE 资源块感知的自适应无线流媒体系统,其利用 LTE 物理层信息(频谱资源块利用率)来改善视频码率自适应的效果,实现了视频质量与播放卡顿之间的折中。本文选择另外两种码率自适应算法(开源项目 GPAC 的原生算法和利用上一分片的下载速率作为可用带宽的估计的算法)与所提的码率自适应算法相比较,并在搭建的原型系统上进行实时测试。测试结果表明:在平均码率上,所提的方法相较于 GPAC 的原生方法大幅提升了 41%,相较于直接使用上一视频分片的下载速率作为可用带宽估计的方法提升了 9.8%;在卡顿率上,相较于 GPAC 的原生方法降低了 5.9%,相较于直接使用上一视频

分片的下载速率作为可用带宽估计的方法降低了 52.2%。

未来几年,5G 移动通信网络将在国内实现大面积覆盖,作为 5G 移动通信核心技术之一的移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)技术为自适应无线流媒体应用提供了更好的基础条件。MEC 在移动网边缘可提供计算、存储及信息开放的服务,为用户提供了高性能、高分布的后台服务器,其中 MEC 提供的信息开放服务更是能实时获取用户无线网络状态信息,当用户请求流媒体业务时,MEC 硬件平台将根据用户和基站之间的无线网络状态条件,实时动态地调整用户的视频数据请求,让获取的视频内容与用户当前所处的网络环境相匹配。随着 5G 时代运营商与内容提供商的深入合作,无线流媒体应用给人们带来的体验值得期待。

参考文献:

- [1] 李佳,谢人超,贾庆民,等.面向视频流的 MEC 缓存转码联合优化研究[J].电信科学,2018,34(8):76-86.
LI J, XIE R C, JIA Q M, et al. Research on joint optimization of MEC cache transcoding for video stream [J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 76-86.
- [2] Ctrix. Mobile analytics report[R]. 2014.
- [3] 夏勃,林浒,李鸿彬,等.一种动态自适应 HTTP 流媒体码率切换算法[J].小型微型计算机系统,2015,36(2):275-279.
XIA B, LIN H, LI H B, et al. A dynamic adaptive HTTP streaming media rate switching algorithm[J]. Small Microcomputer System, 2015, 36(2): 275-279.
- [4] 杜文峰,高思宁.一种流量感知的 LTE 网络节能资源分配算法[J].小型微型计算机系统,2018,39(3):445-449.
DU W F, GAO S Y. Flow-aware LTE network energy-saving resource allocation algorithm[J]. Small Microcomputer System, 2018, 39(3): 445-449.
- [5] 陈梓晗,叶进,肖庆宇. C-ABR: 一种基于视频分类的码率自适应算法[J]. 计算机工程, 2020: 1-6.
CHEN Z H, YE J, XIAO Q Y. C-ABR: a rate adaptive algorithm based on video classification[J]. Computer Engineering, 2020: 1-6.
- [6] ZHANG Y, ARVIDSSON A, SIEKKINEN M, et al. Understanding HTTP flow rates in cellular networks[C]// Proceedings of IFIP Networking Conference. [S. l. : s. n.], 2014: 1-8.



- [7] SODAGAR I. The MPEG-DASH standard for multimedia streaming over the internet[J]. IEEE MultiMedia, 2011, 18(4): 62-67.
- [8] WOJTOWICZ B. OpenLTE[Z]. 2017.
- [9] 曹俊杰. 基于 GNURadio 和 USRP 的认知无线电频谱感知技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- CAO J J. Research on cognitive radio spectrum sensing technology based on GNURadio and USRP[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [10] 潘锐锋, 童小念. 基于 USRP 平台的频谱能量检测方法实现[J]. 信息安全与技术, 2014, 5(3): 48-50.
- PAN R F, TONG X N. Implementation of spectrum energy detection method based on USRP Platform[J]. Information Security and Technology, 2014, 5(3): 48-50.

- [11] XU Y, WANG Z, LEONG W, et al. An end-to-end measurement study of modern cellular data networks[C]// Proceedings of Passive and Active Measurement Conference. [S. l. : s. n.], 2014: 34-45.
- [12] ENST. GPAC[Z]. 2018.

[作者简介]



蔡秉江 (1993—), 男, 中铁第四勘察设计院集团有限公司工程师, 主要研究方向为无线通信。

收录声明

本刊已被中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)全文收录,被本刊录用的文稿,将一律由编辑部统一纳入中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)。若作者不同意被收录,将在来稿时向本刊说明,本刊将做适当处理。若无特别声明,视同将录用文稿的电子网络版、汇编或合订本的使用权授予本期刊社,本刊支付的稿费中已包含上述费用。

The articles of *Telecommunications Science* have been embodied by WANFANG DATA and CNKI. The accepted articles will be unified into WANFANG DATA and CNKI. If the author does not agree to his or her article to be included, the author must illustrate when the article is submitted. The editorial department will properly handle. If the authors do not give a special announcement, the editorial department believes that the authors have granted the right of their articles to *Telecommunications Science*. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的文稿是作者独立取得的原创性研究成果,无一稿多投;文稿内容不涉及国家机密;未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过;文稿内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题,文稿作者将承担全部责任。

The authors of *Telecommunications Science* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Telecommunications Science*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is in no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

电信科学

Telecommunications Science



邮发代号: 2-397 国外代号: M841 定价: 68.00元

ISSN 1000-0801

