

توصیف کامل و جامع مقاله: بهینه‌سازی QoE آگاه از محتوا در جریان ویدیو موبایل با کمک MEC

Content-aware QoE optimization in MEC-assisted Mobile video streaming

این مقاله با عنوان "Content-aware QoE optimization in MEC-assisted Mobile video streaming" توسط نویسندگان Waqas ur Rahman و Eui-Nam Huh نوشته شده است. مقاله در تاریخ ۴ آوریل ۲۰۲۳ منتشر شده و در مجله Multimedia Tools and Applications (جلد ۸۲، صفحات ۴۲۰۵۳-۴۲۰۸۵) چاپ شده است. مقاله بر روی چالش‌های جریان ویدیو تطبیقی مبتنی بر HTTP در شبکه‌های سلولی تمرکز دارد و یک الگوریتم جدید برای بهینه‌سازی کیفیت تجربه کاربر (QoE) پیشنهاد می‌کند که از قابلیت‌های محاسبات لبه چنددسترسی (MEC) استفاده می‌کند. در ادامه، مقاله را به طور کامل و جامع به زبان فارسی توصیف می‌کنم، با ساختار بندی بر اساس بخش‌های اصلی مقاله، و پوشش تمام جنبه‌های کلیدی از جمله مقدمه، کارهای مرتبط، معماری پیشنهادی، مدل ریاضی، الگوریتم‌ها، آزمایش‌ها و نتایج.

چکیده (Abstract)

مقاله به بررسی استراتژی‌های سنتی تطبیق HTTP در سمت مشتری می‌پردازد که هماهنگی بین مشتریان، سرورها و شبکه‌های سلولی ندارند. این عدم هماهنگی منجر به تجربه کاربری نامناسب می‌شود. چالش‌های اصلی شامل بهینه‌سازی QoE، تخصیص ناعادلانه نرخ ویدیو و استفاده ناکارآمد از پهنای باند در لینک‌های سلولی پویا است. بسیاری از استراتژی‌های تطبیقی، ویژگی‌های محتوای ویدیو و اطلاعات مشتری HAS (مانند مدت زمان بخش، اندازه بافر و مدت زمان ویدیو) را نادیده می‌گیرند.

نویسندگان یک الگوریتم ترکیبی آگاه از محتوا با کمک MEC پیشنهاد می‌کنند که از قابلیت‌های محاسبات لبه ابری استفاده می‌کند. این الگوریتم ویژگی‌های محتوای ویدیو، تنظیمات مشتری HAS و اطلاعات لایه کاربردی را برای تطبیق نرخ بیت مشتریان متعدد به کار می‌گیرد. استراتژی‌های جداگانه‌ای برای ویدیوهای کوتاه و بلند طراحی شده است. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با راه‌حل‌های مبتنی بر مشتری و MEC-assisted QoE بالا، تخصیص عادلانه نرخ ویدیو و استفاده کارآمد از پهنای باند را تضمین می‌کند.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم تطبیق ویدیو بلند، بهبودهایی در نرخ ویدیو متوسط (۰,۴٪-۱۲,۳٪ QoE، ۸٪-۶۵٪)، عدالت (۳,۳٪-۵,۷٪) و استفاده از پهنای باند (۶۰٪-۱۳۰٪) نسبت به

الگوریتم‌های پیشرفته دارد. همچنین، الگوریتم ویدیو کوتاه در شرایط پهنای باند بالا، QoE را ۱۱,۱٪ بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: محاسبات لبه موبایل، جریان ویدیو مبتنی بر HTTP، جریان تطبیقی، کیفیت تجربه، رسانه جریان.

مقدمه (Introduction)

محتوای چندرسانه‌ای بخش عمده‌ای از ترافیک اینترنت را تشکیل می‌دهد. طبق شاخص شبکه بصری سیسکو، تا سال ۲۰۲۲، ۸۲٪ ترافیک داده موبایل ویدیو خواهد بود. برای مدیریت این ترافیک، راه‌حل‌های جریان تطبیقی (HAS) HTTP مانند HLS اپل، HDS ادوبی، ISS مایکروسافت و DASH استاندارد ISO/IEC استفاده می‌شوند. در HAS، ویدیو در نرخ‌های بیت متعدد کدگذاری شده و به بخش‌های با مدت ثابت تقسیم می‌شود. الگوریتم‌های ABR در سمت مشتری، کیفیت ویدیو را بر اساس شرایط شبکه تطبیق می‌دهند. اهداف اصلی شامل انتخاب بالاترین نرخ بیت ممکن، اجتناب از تغییرات غیرضروری نرخ بیت و حفظ سطح بافر برای جلوگیری از وقفه پخش است.

الگوریتم‌های سنتی ABR در سمت مشتری، از مشتریان رقیب و کانال‌های رادیویی آگاه نیستند و در محیط سلولی ناعادلانه عمل می‌کنند. با افزایش مشتریان، ناعادلانه بودن افزایش می‌یابد. MEC محاسبات را به لبه شبکه موبایل می‌برد و دسترسی واقعی‌زمان به اطلاعات کاربردی و RAN فراهم می‌کند.

در کار قبلی نویسندگان، عملکرد الگوریتم‌های MEC-assisted و مشتری‌محور تحت تنظیمات مختلف تحلیل شد. الگوریتم‌های موجود قوانین ثابت برای انتخاب کیفیت بر اساس توان عملیاتی تخمینی، سطح بافر یا ترکیبی از آن‌ها دارند، اما نیاز به تنظیم زیاد دارند و عملکردشان نوسانی است. خدمات جریان، مدت زمان بخش‌های متفاوتی (مثل ۲ ثانیه برای Smooth Streaming مایکروسافت) استفاده می‌کنند. بافرهای مختلف نیز تأثیرگذار هستند. الگوریتم‌های موجود این پارامترها را نادیده می‌گیرند.

روند محتوای ویدیو با رسانه‌های اجتماعی تغییر کرده؛ ویدیوهای کوتاه (مانند تریلرهای فیلم با میانگین ۱۱۴,۲ ثانیه) رایج شده‌اند. الگوریتم‌های موجود برای حفظ بافر، کیفیت را فدا می‌کنند که برای ویدیوهای بلند مناسب است، اما برای کوتاه نه. بنابراین، استراتژی‌های جداگانه برای ویدیوهای کوتاه و بلند طراحی شده.

کمک‌های مقاله:

- مدل بهینه‌سازی INLP برای QoE، عدالت و استفاده از پهنای باند.

- الگوریتم‌های حریصانه آگاه از محتوا برای ویدیوهای کوتاه و بلند.

- آزمایش‌های گسترده تحت تنظیمات مختلف.

نتایج نشان‌دهنده بهبودهای قابل توجه است.

کارهای مرتبط (Related Work)

الگوریتم‌های ABR به سه دسته تقسیم می‌شوند: مبتنی بر توان عملیاتی، مبتنی بر بافر و ترکیبی. الگوریتم‌های مبتنی بر توان عملیاتی بر اساس توان عملیاتی بخش‌ها کیفیت را انتخاب می‌کنند، اما در رقابت مشتریان دقیق نیستند. الگوریتم‌های مبتنی بر بافر فقط بافر را مشاهده می‌کنند. ترکیبی‌ها هر دو را استفاده می‌کنند.

FESTIVE و PANDA عدالت را در شبکه سیمی بهبود می‌بخشند، اما در سلولی ضعیف عمل می‌کنند. طرح‌های سمت سرور مانند feedback control justice را بهبود می‌بخشند، اما برای سلولی طراحی نشده‌اند. طرح‌های ترکیبی کیفیت و تخصیص منابع نیاز به تغییر زیرساخت سلولی دارند.

MEC توسط ETSI برای G5 پیشنهاد شده. کارهای قبلی MEC برای کاهش تأخیر استفاده کرده‌اند، اما QoE را نادیده گرفته‌اند. کارهای اخیر MEC-assisted QoE را بهینه می‌کنند، اما استفاده از پهنای باند و محتوای ویدیو را نادیده می‌گیرند. مقاله پیشنهادی، بهینه‌سازی آگاه از محتوا برای QoE، عدالت و پهنای باند را بررسی می‌کند.

جریان با کمک MEC (Multi-access Edge Computing Assisted Streaming)

بررسی معماری (Architecture Overview)

معماری سنتی ABR در سمت مشتری است، اما مشتریان از یکدیگر بی‌خبرند و TCP در سلولی ناعادلانه است. MEC تطبیق را به لبه ابری منتقل می‌کند تا کیفیت مشتریان را مشترکاً تطبیق دهد.

شکل ۱ معماری را نشان می‌دهد: سرور HAS ویدیو را در نرخ‌های $R=\{R_1, \dots, R_m\}$ ذخیره می‌کند، تقسیم به بخش‌های τ ثانیه‌ای. N مشتری درخواست MPD می‌کنند. مشتری درخواست بخش را ارسال می‌کند، MEC درخواست را رهگیری کرده و نرخ را بر اساس بهینه‌سازی سلول گستر تغییر می‌دهد. اطلاعات مشتری (بافر، توان عملیاتی، QoE) از طریق HTTP POST ارسال می‌شود.

دینامیک بافر: $B(t)$ در $[0, B_{max}]$. زمان دانلود بخش $(R_{ik} * \tau / T_k)$. k : زمان انتظار Δt_k برای جلوگیری از سرریز بافر.

جدول ۱ پارامترها را فهرست می‌کند (مانند N, R, B_k, T_k , etc).

بقیه مقاله (صفحات ۸-۳۳) شامل مدل ریاضی، الگوریتم‌ها، آزمایش‌ها و نتیجه‌گیری است. بر اساس محتوای استخراج‌شده از اسکرین‌شات‌ها و توصیف اولیه:

مدل ریاضی (Mathematical Model)

مدل INLP برای بهینه‌سازی مشترک QoE، عدالت و استفاده از پهنای باند. هدف: بهینه‌سازی QoE با در نظر گرفتن نرخ بیت متوسط، تغییرات نرخ بیت، عدالت و ناکارآمدی پهنای باند.

معادلات کلیدی:

- ظرفیت کانال C_j بر اساس SNR.

- تخصیص پهنای باند W_j .

- $QoE_j = \rho * Q_j - \beta * Q_{Sj} + \phi * F_j - \theta * IE_j$ (با وزن‌های قابل تنظیم).

- محدودیت‌ها: تخصیص نرخ بیت، جلوگیری از وقفه، عدالت جین.

مشکل NP-Hard است، بنابراین الگوریتم‌های حریصانه برای ویدیوهای کوتاه (تمرکز بر کیفیت بالا) و بلند (تمرکز بر پایداری بافر) طراحی شده.

الگوریتم‌های پیشنهادی

- **برای ویدیوهای بلند: ** نرخ را بر اساس بافر، مدت بخش، توان عملیاتی و مدت ویدیو تطبیق می‌دهد. از آستانه‌های δs , δIE , δF برای تعادل استفاده می‌کند.
- **برای ویدیوهای کوتاه: ** کیفیت را **агрессив**تر افزایش می‌دهد، زیرا ریسک وقفه کمتر است.

آزمایش‌ها (Experiments)

آزمایش‌ها با NS-3 شبیه‌سازی شده: سلول تک با مشتریان متحرک، سرعت‌های مختلف، مدت بخش ۲-۱۰ ثانیه، بافر ۱۰-۶۰ ثانیه، ویدیوهای ۱۲۰-۱۸۰۰ ثانیه.

مقایسه با الگوریتم‌های پیشرفته مانند BOLA, MPC, Pensieve. بهبودها در QoE، نرخ بیت، عدالت و پهنای باند.

نتیجه‌گیری (Conclusion)

الگوریتم پیشنهادی QoE را تحت تنظیمات مختلف تضمین می‌کند. بهبودهای قابل توجه نسبت به کارهای قبلی. کارهای آینده: گسترش به چند سلول و ویدیوهای زنده.