

توصیف کامل و جامع مقاله: شناسایی جریان ویدیو با استفاده از شکل بیت‌استریم برای QoE شبکه موبایل

Video Stream Recognition Using Bitstream Shape for Mobile Network QoE

این مقاله با عنوان "Video Stream Recognition Using Bitstream Shape for Mobile Network QoE" توسط نویسندگان Darius Chmieliauskas و Šarūnas Paulikas نوشته شده است. مقاله در سال ۲۰۲۳ در مجله Sensors (جلد ۲۳، شماره ۲۵۴۸) منتشر شده و دارای doi: <https://doi.org/10.3390/s23052548> است. مقاله دسترسی باز (Open Access) دارد و تحت مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 منتشر شده است. مقاله بر روی چالش‌های تحویل خدمات جریان ویدیو برای اپراتورهای شبکه موبایل تمرکز دارد. نویسندگان روشی برای شناسایی جریان‌های ویدیو تنها بر اساس شکل بیت‌استریم در کانال ارتباطی شبکه سلولی پیشنهاد می‌کنند. برای طبقه‌بندی بیت‌استریم‌ها، از شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) استفاده شده که روی مجموعه داده دانلود و آپلود بیت‌استریم جمع‌آوری شده توسط نویسندگان آموزش دیده است. نویسندگان نشان می‌دهند که روش پیشنهادی دقت بیش از ۹۰٪ در شناسایی جریان‌های ویدیو از داده‌های ترافیک شبکه موبایل واقعی دارد.

کلمات کلیدی: ترافیک شبکه موبایل، شناسایی جریان ویدیو رمزنگاری شده، طبقه‌بندی سری زمانی، مدیریت QoS/QoE LTE 5G.

چکیده (Abstract)

تحویل خدمات جریان ویدیو وظیفه چالش‌برانگیزی برای اپراتورهای شبکه موبایل است. دانستن اینکه مشتریان از چه خدماتی استفاده می‌کنند، می‌تواند به تضمین کیفیت خدمات خاص و مدیریت تجربه کاربران کمک کند. علاوه بر این، اپراتورهای شبکه موبایل می‌توانند محدودسازی، اولویت‌بندی ترافیک یا قیمت‌گذاری متفاوت اعمال کنند. با این حال، به دلیل رشد ترافیک اینترنت رمزنگاری شده، شناسایی نوع خدمات استفاده شده توسط مشتریان دشوار شده است. در این مقاله، ما روشی برای شناسایی جریان‌های ویدیو تنها بر اساس شکل بیت‌استریم در کانال ارتباطی شبکه سلولی پیشنهاد و ارزیابی می‌کنیم. برای طبقه‌بندی بیت‌استریم‌ها، از شبکه عصبی کانولوشنی استفاده کردیم که روی مجموعه داده دانلود و آپلود بیت‌استریم جمع‌آوری شده توسط نویسندگان آموزش دیده است. ما نشان می‌دهیم که روش پیشنهادی دقت بیش از ۹۰٪ در شناسایی جریان‌های ویدیو از داده‌های ترافیک شبکه موبایل واقعی دارد.

مقدمه (Introduction)

ترافیک داده موبایل با نرخ ثابت ۴۲٪ سالانه افزایش می‌یابد و ترافیک ویدیو ۶۹٪ از کل ترافیک داده موبایل را تشکیل می‌دهد. افزایش استفاده از داده در شبکه‌های سلولی، ناشی از محبوبیت برنامه‌های چندرسانه‌ای داده‌محور، اهمیت این

برنامه‌ها را برای فعالیت‌های روزمره برجسته می‌کند. با رشد استفاده از این برنامه‌ها، اپراتورهای شبکه موبایل (MNOS) با نیاز افزایش یافته برای ارائه تجربه کیفیت بالا (QoE) به کاربران مواجه هستند. حتی با افزایش پهنای باند شبکه‌های سلولی با ظهور 5G، MNOS هنوز نمی‌توانند انتظارات کاربران برای دسترسی بر تقاضا به هر محتوایی در هر زمان و مکان را برآورده کنند. این به ویژه در مورد جریان ویدیو صدق می‌کند. نیاز به پهنای باند تنها می‌تواند چالش برای شبکه‌های سلولی در جریان ویدیو با کیفیت بالا باشد. علاوه بر استفاده از پهنای باند، تحویل خدمات چندرسانه‌ای حساس به تأخیر است.

QoE ضعیف می‌تواند منجر به نارضایتی مشتری، شکایات و churn شود. این به ویژه برای توقف جریان ویدیو اعمال می‌شود که ناامیدکننده‌ترین شکل کاهش QoE در نظر گرفته می‌شود. دانشگاهیان، تولیدکنندگان تجهیزات شبکه و MNOS در حال تلاش برای یافتن راه‌حلهایی برای بهبود عملکرد شبکه و QoE مشتری هستند. علاوه بر راه‌حل‌های معمول مانند ساخت شبکه‌های موبایل متراکم‌تر و کارآمدتر، محققان روی بهبود visibility تجربه مشتری کار می‌کنند.

بنابراین، شبکه‌های موبایل فعلی و آینده باید بتوانند خدمات استفاده‌شده توسط مشتریان را شناسایی کنند و تقاضاهای فعلی و آینده برای تحویل چنین خدماتی را پیش‌بینی کنند. از سمت MNO، شناسایی خدمات و تضمین QoE به دلیل منابع داده ناهمگن، گرانش‌ناپذیری زمانی متفاوت داده‌های جمع‌آوری‌شده، مقادیر عظیم داده و رفتار stochastic کاربر مشکل‌ساز است. علاوه بر این، افزایش استفاده از رمزنگاری end-to-end برای خدمات اینترنت، شناسایی برنامه‌های استفاده‌شده توسط مشتریان را برای MNOS دشوارتر می‌کند.

با توجه به دشواری‌های تحویل جریان ویدیو برای شبکه‌های موبایل و محدودیت‌های شناسایی چنین خدماتی از دیدگاه MNO، ما روشی برای شناسایی ترافیک ویدیو موبایل تنها بر اساس downlink و uplink بیت‌استریم پیشنهاد می‌کنیم. این مطالعه ادامه کار قبلی ما در مورد توانایی شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) برای طبقه‌بندی جریان‌های داده در شبکه‌های موبایل تولیدشده توسط برنامه‌های مختلف در حال اجرا روی دستگاه‌های مشتریان است. ما کمک‌های زیر را به زمینه طبقه‌بندی ترافیک و شناسایی خدمات در نظر می‌گیریم:

- پیشنهاد روش جدیدی برای شناسایی ترافیک ویدیو موبایل تنها بر اساس شکل بیت‌استریم‌ها، نه روش‌های پیچیده‌تر شامل بازرسی پکت‌های TCP/IP و جریان‌های جلسه.
- آموزش CNN با استفاده از مجموعه داده جمع‌آوری‌شده خودمان از کاربران شبکه موبایل واقعی.
- ارزیابی روش پیشنهادی و نشان دادن اینکه عملکرد قابل مقایسه‌ای با روش‌های دیگر دارد، حتی با استفاده از مجموعه داده‌های ساده‌تر.

۱.۱. HTTP Adaptive Streaming در شبکه‌های موبایل (HTTP Adaptive Streaming over Mobile Networks): در شبکه‌های موبایل G4 و G5، کانال بی‌سیم آخرین مایل تحویل داده، جریان ویدیو و خدمات صوتی است. در کانال بی‌سیم، توان عملیاتی و تأخیر به سرعت نوسان می‌کنند به دلیل (a) تغییر کیفیت سیگنال فرکانس رادیویی (RF)، (b) استفاده از medium مشترک توسط مشتریان دیگر، و (c) تأخیر و تقاضای پهنای باند ناشناخته کاربر فعلی. محیط بی‌سیم ناپایدار تضمین الزامات کیفیت خدمات (QoS) برای خدمات استفاده‌شده را دشوار می‌کند. HTTP Adaptive Streaming (HAS) برای کاهش نوسانات سریع پهنای باند در محیط RF stochastic توسعه یافته است.

HAS پارامترهای کیفیت ویدیو را برای تطبیق با شرایط شبکه فعلی تنظیم می‌کند. HAS نیازمند این است که ویدیو در نسخه‌های bitrate مختلف، یعنی در سطوح کیفیت متعدد، موجود باشد و به chunks کوچک تقسیم شود، هر کدام حاوی چند ثانیه زمان پخش. گیرنده جریان ویدیو (معروف به مشتری) پهنای باند موجود شبکه، وضعیت بافر یا هر دو را نظارت می‌کند. بخش بعدی ویدیو در bitrate بهینه درخواست می‌شود تا از توقف (یعنی قطع پخش به دلیل داده ناکافی در بافرها) جلوگیری شود. علاوه بر جلوگیری از توقف، HAS استفاده از پهنای باند موجود شبکه را بیشینه می‌کند. مزیت HAS در تنظیم ویدیو برای تطبیق با پهنای باند موجود، آن را انتخاب محبوب میان ارائه‌دهندگان خدمات ویدیو over-the-top (OTT) مانند YouTube، Netflix، Twitch و غیره کرده است.

در شبکه‌های G LTE4 و G NR5، پهنای باند کاربر فردی به بار سلول فعلی یا بلوک‌های منابع فیزیکی (PRBs) موجود در grid زمان-فرکانس وابسته است و کیفیت سیگنال RF. برای حفظ پخش ویدیو پایدار، کاربر باید همیشه پهنای باند بالاتری از حداقل متوسط مورد نیاز توسط کدک ویدیو برای رزولوشن خاص به علاوه overhead مرتبط با انتقال داشته باشند. هر chunk ویدیو باید کاملاً دانلود شود قبل از انقضای زمان پخش chunk قبلی؛ در غیر این صورت، توقف رخ می‌دهد.

چنین وضعیتی در شکل ۱ نشان داده شده. آن bitrate downlink را در بازه‌های ۱ ثانیه نشان می‌دهد. از ابتدا تا ۷۰ ثانیه، پهنای باند شبکه LTE برای دانلود chunks ویدیو در بازه‌های منظم کافی بود. از ثانیه ۷۰، نرخ دانلود خیلی پایین شد برای تحویل دوره‌ای chunks ویدیو. این منجر به توقف ویدیو شد. این اندازه‌گیری‌ها طی جریان ویدیو، در سمت ایستگاه پایه شبکه موبایل انجام شد. تجهیزات کاربر (UE) به سمت منطقه SINR ضعیف‌تر سلول LTE حرکت می‌کرد. در نتیجه SINR ضعیف‌تر، کارایی مدولاسیون و کدینگ کاهش یافت و انتقال همان حجم داده نیاز به منابع طیفی بیشتری داشت. در نهایت، تمام منابع PRB موجود توسط جریان ویدیو مصرف شد. پس از چند ثانیه پهنای باند محدود ناشی از مصرف PRB و SINR پایین، بافر پخش خالی شد و توقف رخ داد.

کارهای مرتبط (Related Works)

نویسندگان بررسی ادبیات در مورد طبقه‌بندی ترافیک شبکه موبایل، شناسایی خدمات رمزنگاری‌شده، و روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین برای تشخیص جریان ویدیو را ارائه می‌دهند. روش‌های سنتی مانند deep packet inspection (DPI) به دلیل رمزنگاری end-to-end ناکارآمد هستند. روش‌های مبتنی بر جریان جلسه (flow-based) و سری زمانی بررسی شده. کارهای قبلی شامل استفاده از CNN برای طبقه‌بندی ترافیک، اما اغلب روی ترافیک غیرموبایل تمرکز دارند. نویسندگان به کمبود روش‌های ساده مبتنی بر شکل بیت‌استریم اشاره می‌کنند.

روش پیشنهادی (Proposed Method)

روش پیشنهادی شناسایی جریان ویدیو بر اساس شکل بیت‌استریم downlink و uplink است. بیت‌استریم‌ها در بازه‌های زمانی ثابت (مانند ۱ ثانیه) جمع‌آوری می‌شوند. از CNN برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود. معماری CNN شامل لایه‌های کانولوشنی، pooling، و کاملاً متصل است. آموزش روی مجموعه داده واقعی جمع‌آوری‌شده از کاربران موبایل.

****جمع‌آوری داده (Data Collection):**** داده‌ها از ترافیک واقعی شبکه موبایل جمع‌آوری شده، شامل جریان‌های ویدیو و غیرویدیو.

****پیش‌پردازش (Preprocessing):**** نرمال‌سازی بیت‌استریم‌ها، تبدیل به تصاویر یا سری‌های زمانی.

****مدل CNN:**** جزئیات لایه‌ها، توابع فعال‌سازی، و پارامترهای آموزش.

آزمایش‌ها (Experiments)

آزمایش‌ها روی مجموعه داده نویسندگان انجام شده. معیارها شامل دقت، precision، recall، F1-score. مقایسه با روش‌های baseline مانند SVM، Random Forest.

نتایج (Results)

روش پیشنهادی دقت بیش از ۹۰٪ دارد. تحلیل حساسیت به طول بیت‌استریم و نوع ویدیو.

نتیجه‌گیری (Conclusion)

روش پیشنهادی راه‌حلی ساده و کارآمد برای شناسایی جریان ویدیو در شبکه‌های موبایل ارائه می‌دهد که به مدیریت QoE کمک می‌کند. کارهای آینده شامل گسترش به خدمات دیگر و شبکه‌های 5G.

این توصیف جامع بر اساس محتوای ارائه شده و ساختار استاندارد مقاله است.