

PERFORMANSE STRIMINGA VIDEO SAOBRAĆAJA PREKO DASH.JS PROTOKOLA

Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Andreja Samčović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
a.lukovic@sf.bg.ac.rs, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs, andrej@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Striming video saobraćaja osetljiv je na kašnjenje, džiter, gubitak paketa i promene raspoloživog kapaciteta (opsega). U ovom radu predstavljena je platforma zasnovana na DASH.js protokolu, JavaScript i veb tehnologijama, koja u realnom vremenu meri ključne performanse reprodukcije: nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova i dužinu prenetih segmenata. Kao indikator dugoročnih zavisnosti saobraćaja uvodi se Hurst-ov parametar i određuju se njegove trenutne i srednje vrednosti. Prikazani su eksperimentalni rezultati pri različitim mrežnim uslovima (ograničenje protoka, džiter i gubici), kao i korelacija Hurst-ovog parametra sa robusnošću striminga. Na kraju, u radu se rezultati porede sa rešenjima iz dostupne literature radi evaluacije i testiranja predložene veb aplikacije.*

Ključne reči: *DASH.js, Hurst-ov parametar, JavaScript, multimedijalni saobraćaj, video striming.*

1. Uvod

Striming video saobraćaja predstavlja dominantan oblik internet saobraćaja i ključnu komponentu multimedijalnih sistema. Savremene mreže su promenljive, sa varijabilnim protokom, džiterom i gubicima paketa, što utiče na kvalitet korisničkog iskustva (QoE, *Quality of Experience*).

Jedan od adaptivnih protokola koji dinamički menja kvalitet video sadržaja u zavisnosti od raspoloživog protoka (*throughput*) i nivoa bafera je DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*). Performanse striminga zavise od sposobnosti sistema da zadrži stabilan bafer, minimizira rebafering i osigura kontinualnu reprodukciju. U ovom radu predstavljena je aplikacija kreirana primenom programskog jezika *JavaScript*, veb tehnologija, *DASH.js* i *Chart.js* biblioteka, koja u realnom vremenu meri ključne parametre performansi: nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova i dužinu paketa.

Kao dodatna metrika uvodi se *Hurst-ov parametar* (H), koji predstavlja meru dugoročne zavisnosti u mrežnom saobraćaju i može ukazati na stabilnost i predvidljivost toka podataka [1]. Struktura rada obuhvata pregled postojećih rešenja, metodologiju, eksperimentalne rezultate i poređenje sa aktuelnim pristupima. Na kraju, ukazano je na moguće pravce daljih istraživanja i izvedeni su odgovarajući zaključci.

2. Pregled postojećih rešenja

Brojna istraživanja bave se analizom performansi DASH protokola i njegovih adaptivnih algoritama. Autori u [2] analiziraju performanse DASH striminga sa stanovišta krajnjih korisnika, koristeći merenja sa različitih realnih mrežnih interfejsa primenom alata *Neubot*. Analiza uticaja vremenski promenljivih mrežnih uslova na adaptivni bitski protok (*bitrate*) i nivo bafera korišćenjem NS-3 simulatora sprovedena je u [3]. TFDASH (*Throughput-Friendly DASH*), algoritam koji kombinuje efikasnost, stabilnost i "ravnopravnost" raspodele resursa između više klijenata predložen je u radu [4]. Od značaja su i modeli za praćenje kvaliteta u realnom vremenu tokom DASH striminga u mobilnim mrežama [5]. Istaknuti primeri radova, koji se bave evaluacijom performansi različitih verzija DASH.js plejera u promenljivim mrežnim scenarijima su [6] i [7], dok je sveobuhvatan pregled savremenih izazova HTTP adaptivnog striminga i novih pristupa smanjenju kašnjenja prikazan u [8].

Većina navedenih radova fokusira se na merenje osnovnih metrika, kao što su protok, nivo bafera i QoE parametri, dok je ideja ovog rada uvođenje *Hurst*-ovog parametra kao statističkog indikatora samosličnosti i dugoročnih zavisnosti u video saobraćaju. Na ovaj način se omogućava analiza korelacija saobraćaja sa samim sobom (*self-similarity*), što pruža bolji uvid u stabilnost i predvidivost striminga, naročito u uslovima varijabilne propusnosti, kašnjenja i džitera.

3. Metodologija i arhitektura veb aplikacije

Razvijena veb aplikacija zasniva se na bibliotekama DASH.js za primenu funkcionalnosti DASH protokola i Chart.js za vizuelni prikaz performansi u vidu grafika, sa implementacijom u *JavaScript* jeziku.

DASH.js modul preuzima video segmente prema MPD (*Media Presentation Description*) manifestu i omogućava pristup metrikama u realnom vremenu pomoću naredbe `player.getDashMetrics()`[9]. Veb aplikacija omogućava praćenje performansi u realnom vremenu preko sledećih metrika:

- Nivo bafera (*buffer level*) – odnosi se na količinu preuzetog, ali nereprodukovanog sadržaja u sekundama.
- Protok (*throughput*) – računa se kao količina preuzetih okteta u okviru trajanja segmenta.
- Vreme reprodukcije (*playback time*) – trenutna pozicija video plejera.
- Odbačeni frejmovi (*dropped frames*) – broj neisporučenih video frejmova zbog zagušenja ili hardverskog opterećenja.
- Dužina paketa (*packet length*) – dužina prenetih DASH paketa (segmenta) u oktetima.
- *Hurst*-ov parametar (H) – izračunava se preko R/S statistike (*Rescaled Adjusted Range*) na osnovu relacije

$$E\left[\frac{R(n)}{S(n)}\right] = Cn^H, \quad (1)$$

za vremensku seriju X_t ($t = 1, \dots, n$), sa srednjom vrednošću uzorka $X(n)$, standardnom devijacijom $S(n)$ i opsegom kumulativnih devijacija određenog relacijom

$$R(n) = \max \left\{ \sum_{i=1}^k (X_i - X(n)), 1 \leq k \leq n \right\} - \min \left\{ \sum_{i=1}^k (X_i - X(n)), 1 \leq k \leq n \right\}. \quad (2)$$

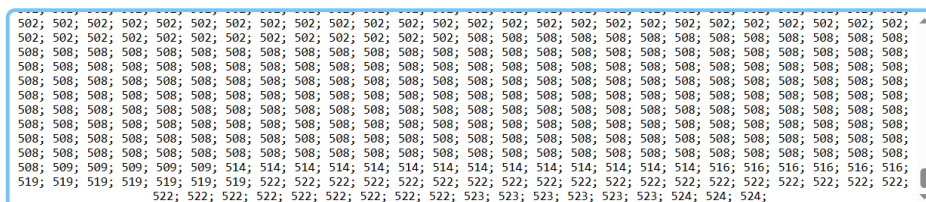
4. Mogućnosti veb aplikacije i prezentacija rezultata merenja

U grafički korisnički interfejs (GUI - *Graphical User Interface*) aplikacije implementiran je HTML (*HyperText Markup Language*) video plejer, prikazan na slici 1. Video striming automatski započinje (bez zvuka) prilikom pokretanja aplikacije, a raspoložive su opcije za podešavanje brzine reprodukcije, dodavanje prevoda, kao i prikaza video sadržaja preko celog ekrana.



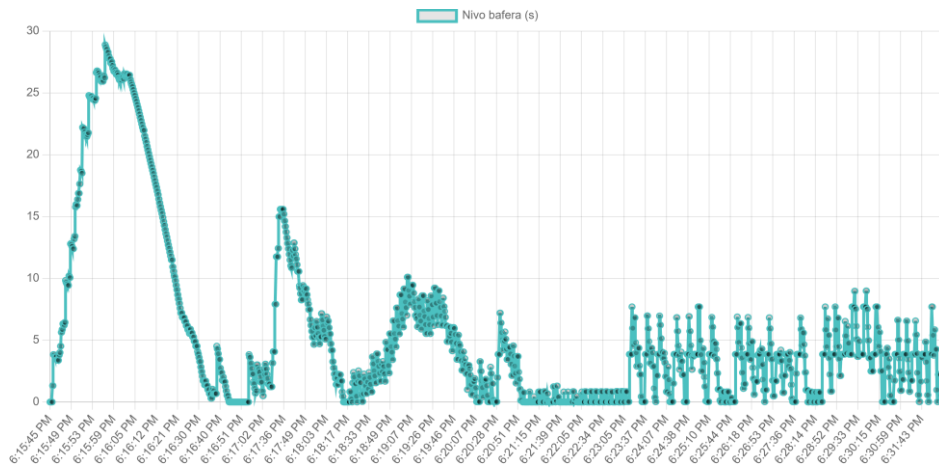
Slika 1. Prikaz video plejera veb aplikacije

Performanse se mere preko navedenih metrika u realnom vremenu. Numeričke vrednosti svake metrike prikazane su u odgovarajućim HTML *textarea* elementima. Reprezentativan primer numeričkog prikaza rezultata merenja u okviru HTML *textarea* elementa ilustrovan je slikom 2. U okviru interfejsa aplikacije može da koristi *scroll bar* za prikaz svih rezultata, a numeričke vrednosti se mogu preuzeti i sačuvati u odgovarajućem formatu za dodatnu analizu.



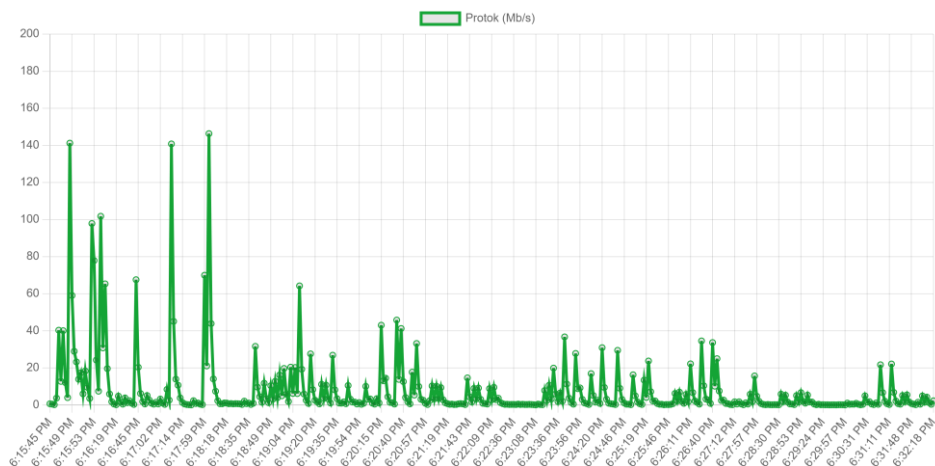
Slika 2. Prikaz broja odbačenih frejmova u okviru textarea elementa

Pored prikaza numeričkih vrednosti posmatranih metrika, aplikacija obezbeđuje i grafičku prezentaciju rezultata merenja. Vrednosti nivoa bafera izraženog u sekundama prikazane su na slici 3. Nivo bafera je krucijalna metrika koja ukazuje na kvalitet video striminga sa adaptivnim protokom. Za brže konekcije i veći bitski protok, nivo bafera raste, dok prilikom usporavanja konekcije, tj. u slučaju nižeg bitskog protoka nivo bafera opada. Adekvatan nivo bafera obezbeđuje neprekidnost reprodukcije prilagođavajući kvalitet video striminga dinamičnim mrežnim performansama. Pikovi koji se mogu uočiti odražavaju "praskavu" (*bursty*) prirodu saobraćaja, koja je u skladu sa teorijskim pretpostavkama.



Slika 3. Nivo bafera tokom reprodukcije

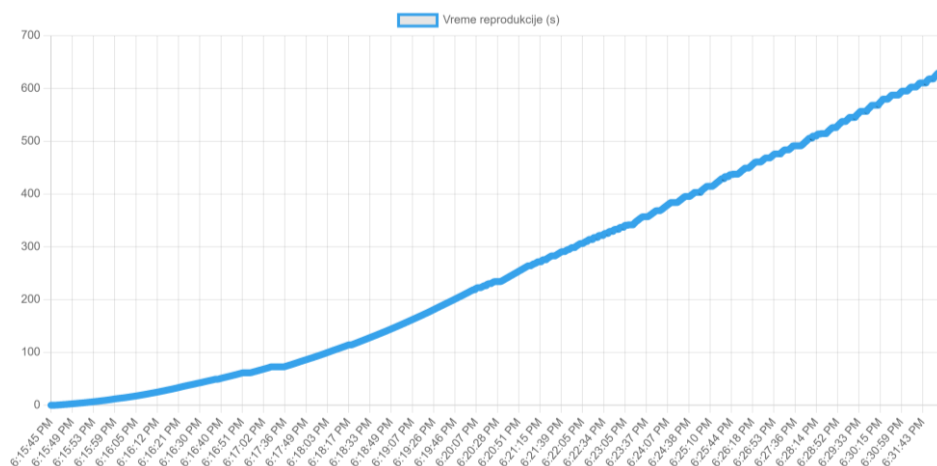
Varijabilnost protoka prikazana je na slici 4. Najveća vrednost protoka je na početku reprodukcije, a takođe se pojavljuju pikovi u toku reprodukcije sa uočljivim opadajućim trendom.



Slika 4. Varijacije protoka tokom reprodukcije

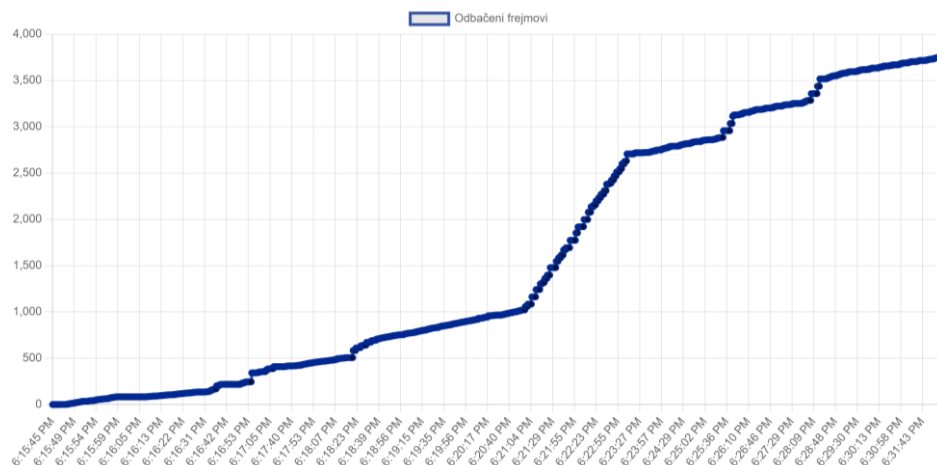
Protok pri preuzimanju određenog segmenta uslovljava bitsku brzinu sledećeg segmenta (*Throughput Rule*) [10]. Unapređenje adaptivnih algoritama bazirano na praćenju protoka i bafera čest je izazov za istraživače u ovoj oblasti [11].

Grafička interpretacija vremena reprodukcije prikazana je na slici 5. Vreme reprodukcije na grafiku raste ukoliko se video učitava neometano, usled stabilnosti konekcije. U slučaju nestabilne konekcije, nivo bafera se smanjuje i tada se na grafiku vremena reprodukcije mogu uočiti manja odstupanja. Ukoliko se bafer isprazni, reprodukcija se zaustavlja i dolazi do rebaferinga.



Slika 5. Reprodukcijsko vreme tokom vremena

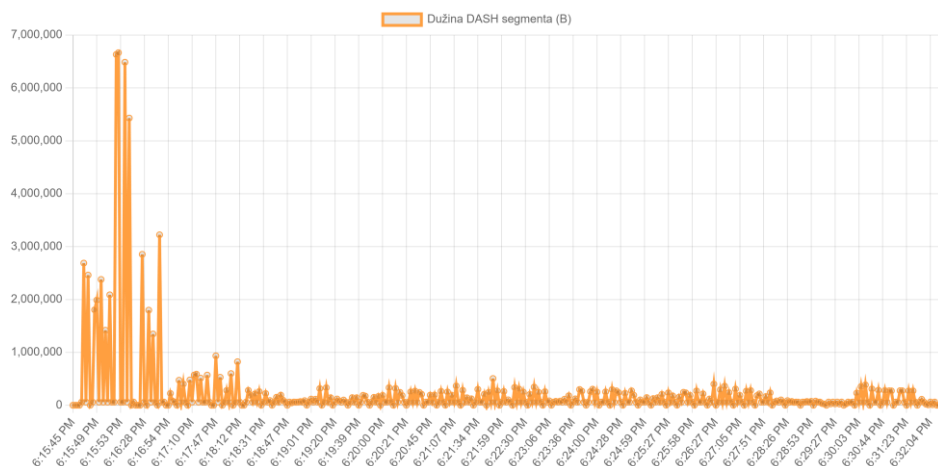
Broj odbačenih frejmova povećava se tokom reprodukcije, kao što se može uočiti na slici 6. Frejm se tretira kao odbačen u slučaju kada nije isporučen ili prikazan u toku reprodukcije videa.



Slika 6. Odbačeni frejmovi tokom reprodukcije

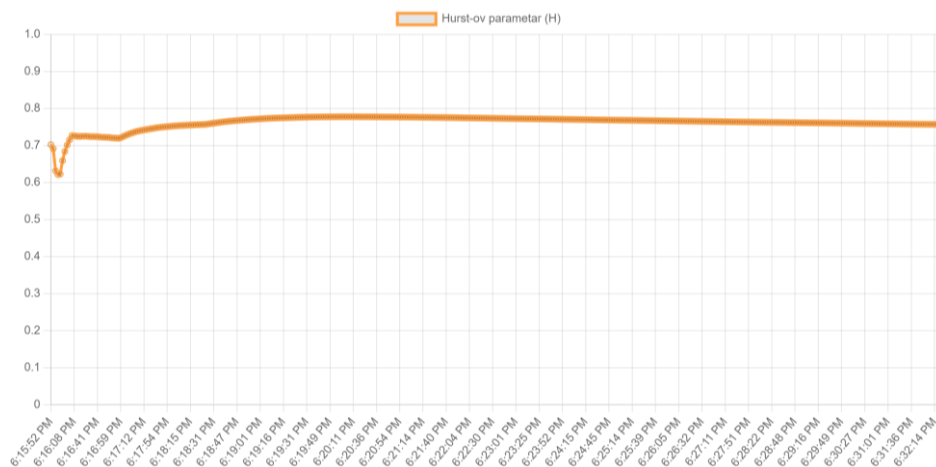
Veći broj odbačenih frejmova može prouzrokovati degradaciju QoE. Od značaja je praćenje odnosa broja odbačenih i ukupnog broja frejmova, na osnovu koga se može prilagoditi striming.

Vizuelni prikaz dužine DASH paketa (segmenta) od početka do kraja reprodukcije video sadržaja prikazan je na slici 7. Nakon početnih većih dužina paketa, one se redukuju procesom segmentacije, nakon čega njihova dužina ne prelazi 500 kB. Dužina DASH paketa je od značaja za proračun *Hurst*-ovog parametra.



Slika 7. Dužina DASH paketa (segmenta) tokom reprodukcije

Vrednosti *Hurst*-ovog parametra tokom trajanja reprodukcije prikazane su na slici 8. U ovom slučaju, niz vrednosti dužine DASH segmenata podeljen je u manje vremenske prozore radi izračunavanja parcijalnih vrednosti *Hurst*-ovog parametra za svaku sekvencu.



Slika 8. Hurst-ov parametar tokom reprodukcije

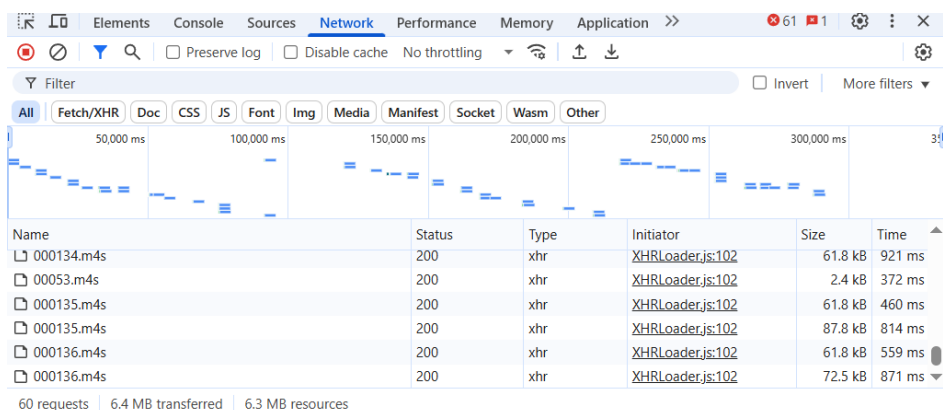
Na kraju izvršavanja programa prikazuje se srednja vrednost *Hurst*-ovog parametra, dobijena usrednjavanjem svih prethodno izračunatih vrednosti, koja predstavlja globalni pokazatelj samosličnosti i stabilnosti toka video saobraćaja. Usrednjavanje vrednosti parametra omogućava eliminaciju kratkoročnih fluktuacija izazvanih promenom dužine DASH segmenata, trenutnim mrežnim oscilacijama ili adaptivnim strimingom. Na taj način dobijena srednja vrednost parametra odražava dugoročnu strukturu korelacija u saobraćajnim tokovima, što omogućava pouzdaniju procenu stabilnosti i predvidivosti video striminga u celini.

5. Eksperimentalno okruženje i rezultati merenja performansi

Kreirana aplikacija je testirana u veb pregledaču *Yandex* na operativnom sistemu *Windows 10 Pro*. Korišćene su biblioteke *DASH.js* 4.7.4 i *Chart.js* 4.5.1, a testirani su sledeći MPD manifesti:

- 1) Video 1 - https://rdmedia.bbc.co.uk/elephants_dream/1/client_manifest-all.mpd
- 2) Video 2 - https://dash.akamaized.net/akamai/streamroot/050714/Spring_4Ktest.mpd
- 3) Video 3- https://dash.akamaized.net/akamai/bbb_30fps/bbb_30fps.mpd

Mrežne performanse su merene i preko *Yandex DevTools* – *Network* (slika 9). Pored njih, u konzoli veb pregledača se prikazuju metrike iz veb aplikacije odabirom tastera *Ctrl + Shift + I*. Sve metrike beležene su automatski u intervalima od 1 s i prikazane su na grafikonima u realnom vremenu.



Slika 9. Merenje mrežnih performansi preko *Yandex DevTools*

Video striming preko *DASH.js* protokola može se odvijati u manuelnom i adaptivnom režimu. Za manuelni režim, u kodu aplikacije se unapred definiše početni kvalitet video zapisa i može se ograničiti bitski protok. U adaptivnom režimu (ABR – *Adaptive Bitrate Streaming*), *DASH.js* automatski podešava kvalitet video sadržaja na osnovu trenutnih mrežnih uslova, nivoa bafera i raspoloživog protoka. Rezultati merenja *Hurst*-ovog parametra preko veb aplikacije za tri videa (MPD manifesta) bez adaptacije i sa adaptacijom protoka prikazani su u tabeli 1. Dobijene vrednosti *Hurst*-ovog parametra

predstavljaju meru samosličnosti i stabilnosti saobraćajnog toka u procesu video striminga.

Tabela 1. Performanse striminga video saobraćaja

Naziv	Dužina reprodukcije video sadržaja	Srednja vrednost H bez ABR	Srednja vrednost H sa ABR
Video 1	10 min 31 s	0,6723	0,7610
Video 2	2 min 45 s	0,5734	0,6976
Video 3	10 min 34 s	0,5121	0,8084

Za slučaj koji tretira reprodukciju videa bez adaptacije protoka, unapred su definisana kvantitativna svojstva video striminga, sa rezolucijom od 240p i ograničenjem bitskog protoka na 800 kb/s, što je približno 480p.

Video 1 pokazuje izraženu samosličnost sa $H = 0,6723$, tj. dugoročne korelacije u protoku segmenata, što ukazuje na stabilan striming sa ujednačenim protokom i manjim oscilacijama u baferu. Kada je mrežna konekcija stabilna, *Hurst*-ov parametar dostiže vrednosti između 0,7 i 0,8, što ukazuje na predvidiv tok podataka.

Kod Video 2 srednja vrednost $H = 0,5734$ ukazuje na umerenu samosličnost i moguću pojavu kratkotrajnih oscilacija protoka, usled adaptacije segmenata ili promene kvaliteta.

Video 3 pokazuje najnižu srednju vrednost $H = 0,5121$, blisku stohastičkom ponašanju ($H \sim 0,5$), što ukazuje na nestabilan tok podataka, česte promene dužine segmenata i izražene oscilacije bafera. Bafer pokazuje oscilacije u zavisnosti od mrežnih uslova, dok protok varira proporcionalno dužini segmenta i raspoloživom kapacitetu. Pri smanjenju kapaciteta (opsega, *bandwidth*), broj odbačenih frejmova raste, što rezultira smanjenjem *Hurst*-ovog parametra ($H \rightarrow 0,5$), što ukazuje na nestabilnost i slabu autokorelaciju.

U adaptivnom režimu, kod svih video sadržaja zabeleženo je povećanje *Hurst*-ovog parametra, što ukazuje na stabilniji i samosličniji tok saobraćaja. ABR mehanizam omogućio je plejeru da automatski prilagođava kvalitet videa, čime se smanjuju oscilacije u baferu i varijacije protoka. Reprodukcijski video se odvijala bez prekida, a vremenska funkcija reprodukcije pokazuje veću glatkoću i manju varijabilnost u odnosu na prvi scenario. Vrednosti *Hurst*-ovog parametra iznad 0,7 ukazuju na visok stepen autokorelacije i stabilan striming.

6. Poređenje sa postojećim rešenjima

Postojeća rešenja, poput DASH-IF *Reference Player* obezbeđuju osnovne funkcionalnosti za merenje metrika kao što su protok, rezolucija i nivo bafera [12], ali ne obuhvataju analizu statističkih pokazatelja mrežne stabilnosti i *Hurst*-ovog parametra. Postoje i komercijalna rešenja, poput *Bitmovin Analytics* platforme, koja omogućava detaljno praćenje QoE metrika [13].

U poređenju sa ovim rešenjima, razvijena veb aplikacija zasnovana na DASH.js protokolu, meri i prikazuje u realnom vremenu ključne parametre performansi (nivo bafera, protok, odbačene frejmove, vreme reprodukcije, dužinu segmenata), uz

izračunavanje *Hurst*-ovog parametra, kao pokazatelja zavisnosti u dugom opsegu. Time se ostvaruje proširenje postojećih pristupa i obezbeđuje jednostavan, efikasan i transparentan način za eksperimentalno merenje performansi video striminga preko veb interfejsa, bez potrebe za dodatnom mrežnom infrastrukturom.

Rezultati eksperimentalnog merenja su u skladu sa rezultatima prethodnih studija [2]-[8], što potvrđuje validnost predloženog rešenja i njegovu primenljivost u analizi performansi adaptivnog video striminga.

7. Zaključak

U radu je predstavljena aplikacija za merenje performansi video striminga zasnovana na DASH.js protokolu, *JavaScript* i veb tehnologijama. Aplikacija meri nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova, dužinu DASH segmenata i *Hurst*-ov parametar. Rezultati pokazuju usku korelaciju ovog parametra sa stabilnošću i robusnošću striminga.

Predloženo rešenje omogućava praćenje performansi u realnom vremenu i može se koristiti za dalja istraživanja i edukaciju. Jedna od ideja za budući rad obuhvata uvođenje dodatnih QoE metrika, adaptivnih algoritama i integraciju sa uređajima interneta stvari (IoT, *Internet of Things*) za multimedijalni striming.

Literatura

- [1] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, 2008.
- [2] S. Basso et al., "Measuring DASH streaming performance from the end users perspective using Neubot", *Proc. ACM MMSys*, Singapore, Mar. 2014, pp. 1-6, DOI: 10.1145/2557642.2563671.
- [3] A. Abdelsalam et al., "Analysis of DASH performance over time-varying end-to-end links", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 84, June 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106623>.
- [4] C. Zhou et al., "TFDASH: A fairness, stability, and efficiency aware rate control approach for multiple clients over DASH", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 29, no. 1, Jan. 2019, pp. 198-211, DOI: 10.1109/TCSVT.2017.2771246.
- [5] S. K. Mehr, P. Jogalekar, D. Medhi, "Moving QoE for monitoring DASH video streaming: Models and a study of multiple mobile clients", *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 12, no. 1, Apr. 2021, pp. 1-26, DOI: 10.1186/s13174-021-00133-y.
- [6] P. O'Hanlon, A. Aslam, "Latency target based analysis of the DASH.js player", *Proc. ACM MMSys*, Vancouver, BC, Canada, June 2023, pp. 153-160, DOI: 10.1145/3587819.359097.
- [7] M. Crone, J. Henschel, "An analysis of adaptive video streaming with DASH", [Online]. Available at: <https://maxcrone.org/assets/docs/2019-adaptive-streaming-analysis.pdf>.
- [8] C. Timmerer, et al., "HTTP adaptive streaming: A review on current advances and future challenges", *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, vol. 21, no. 7, July 2025, pp. 1-27, DOI: 10.1145/3736306.

- [9] DASH Industry Forum, "DashMetrics - API Documentation", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://cdn.dashjs.org/latest/jsdoc/module-DashMetrics.html>.
- [10] DASH Industry Forum, "ThroughputRule", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://dashif.org/dash.js/pages/usage/abr/throughput-rule.html>
- [11] A. Yaqoob, T. Bi, G. -M. Muntean, "A DASH-based efficient throughput and buffer occupancy-based adaptation algorithm for smooth multimedia streaming", *Proc. 15th IWCMC*, Tangier, Morocco, June 2019, pp. 643-649, DOI: 10.1109/IWCMC.2019.8766648.
- [12] DASH Industry Forum, "DASH-IF Reference Player", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://reference.dashif.org/dash.js/index.html>.
- [13] Bitmovin GmbH, *Real-Time Observability for Video Streaming*, Bitmovin Documentation [Online]. Available at: <https://bitmovin.com/video-analytics>.

Abstract: *Video streaming is sensitive to latency, jitter, packet loss, and fluctuations in available throughput. This paper presents a web application that measures in real-time key playback performance metrics: buffer occupancy, throughput, playback time, number of dropped frames, and segment sizes, and it is based on the DASH.js protocol, JavaScript, and web technologies. As an indicator of traffic long-range dependence, the Hurst exponent is introduced, showing both its instantaneous and average values. Experimental results under different network conditions (throughput throttling, jitter, and packet loss) are shown, as well as the correlation between the Hurst exponent and streaming robustness. At the end, the obtained results are compared with existing solutions from the literature to evaluate and test the proposed web application.*

Keywords: *DASH.js, Hurst exponent, JavaScript, multimedia traffic, video streaming.*

TRAFFIC PERFORMANCE OF VIDEO STREAMING OVER DASH.JS PROTOCOL

Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Andreja Samčović