

## SVOJSTVA MULTIMEDIJALNOG SAOBRAĆAJA IoT APLIKACIJA

Andreja Samčović<sup>1</sup>, Aleksandar Luković<sup>1</sup>, Bojan Bakmaz<sup>1</sup>, Ana Gavrovska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs,  
a.lukovic@sf.bg.ac.rs, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.rs

**Rezime:** *Poznato je da multimedijalni saobraćaj pokazuje osobine "sličnosti samom sebi" (self-similarity) pri posmatranju u različitim vremenskim intervalima i da se njegova svojstva mogu kvantitativno izražavati  $H$  (Hurst-ovim) parametrom. U ovom radu analizirana su svojstva multimedijalnog IoT (Internet of Things) saobraćaja, preko  $H$  parametra, na raznim nivoima i za različite scenarije promene rezolucije slike i primenjenih efekata. Izvršena je komparacija dobijenih rezultata sa aktuelnim rezultatima iz literature.*

**Ključne reči:** *Arduino, ESP32 kamera, Hurst-ov parametar, IoT, multimedijalni saobraćaj, "sličnost samom sebi"*

### 1. Uvod

Pojam "Internet stvari" (*Internet of Things*, IoT) promovisan je još 1999. godine od strane Auto-ID laboratorije na MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) [1]. Njegovoj pojavi prethodili su uređaji sa mogućnošću povezivanja na Internet, među kojima je prvi bio električni toster, 1990. godine i prva prenosiva kamera sa 64-bitnom arhitekturom procesora, sa radom u "skoro" realnom-vremenu, 1997. godine. Konstantnim nastajanjem novih IoT uređaja iz godine u godinu, povećavao se broj povezanih uređaja, a samim time i njihova heterogenost. Nakon definisanja pojma IoT, usledila je široka primena uređaja sa radio-frekvencijskom identifikacijom (RFID, *Radio-frequency Identification*), a pojava Internet protokola verzije 4 (IPv4), a zatim i najnovije verzije 6 (IPv6), omogućila je efikasnije adresiranje i povezivanje na globalnu mrežu.

Nastali su novi mediji prenosa, a takođe se povećavala raznovrsnost podataka, što je otvorilo mogućnosti za povezivanje multimedijalnih i IoT tehnologija. Različiti povezani uređaji, poput mikrokontrolera, mikroracunara, senzora, aktuatora, kamera, pametnih telefona, televizora, merača energije, nosivih (*wearable*) uređaja, kao i vozila, međusobno razmenjuju podatke i posredstvom neke mreže, kao što je Internet, učestvuju u generisanju mrežnog, tj. telekomunikacionog saobraćaja, koji je po svojoj prirodi multiservisni i agregirani [2]. Saobraćaj u IoT sistemima izražava svojstvo "sličnosti

samom sebi" (*self-similarity*), bitno za dalja izučavanja osobnosti mreže, projektovanja mrežnih resursa, definisanja kapaciteta, detekcije anomalija, kao i efikasnije upravljanje mrežom. Sličnost saobraćaja samom sebi može se kvantitativno izraziti preko *Hurst*-ovog (*H*) parametra (eksponenta) [3].

Nakon uvoda, u prvom delu rada predstavljene su moguće realizacije IoT sistema kroz aplikacije, kao i specifičnosti multimedijalnih IoT sistema. Sagledane su osobine saobraćaja u IoT okruženju, i ukazano je na fenomen "sličnosti samom sebi" (*self-similarity*). U drugom delu rada iznete su postavke IoT sistema na kome su vršena merenja saobraćaja, prikazani su rezultati merenja uz odgovarajuću analizu, kao i komparacija sa istraživanjima iz aktuelne literature. Izvedeni su relevantni zaključci i ukazano je na pravce daljih istraživanja.

## 2. IoT sistemi i aplikacije

IoT predstavlja skup više povezanih hardverskih komponenti i softverskih sistema, digitalnih platformi, sa međusobnom razmenom podataka i sa okolinom, posredstvom mreže, koji date podatke prikupljaju, pretvaraju u digitalni oblik, prenose i skladište na lokalnim memorijskim jedinicama, bazama podataka i/ili na udaljenim, *cloud* serverima [4]. Podaci potiču iz različitih izvora, kao što su: senzori za nadgledanje kvaliteta životne sredine, IoT kamere, ultrazvučni senzori razdaljine, aktuatori, RFID uređaji, audio senzori, autonomna vozila, uređaji za prikupljanje i merenje energije i dr. [5, 6]. Reprezentativni primeri realizacije IoT sistema su:

1. Sistem za prikupljanje energije – Različiti oblici energije (mehanička, toplotna, ambijentalna, radio-frekvencijska, solarna, energija vetra), mogu se prikupljati i konvertovati u električnu energiju. Cilj ovih sistema može biti zamena standardnih baterija i održavanje energije bez baterijskog skladištenja;
2. Sistem za merenje potrošnje energije – Sistemi za merenje nivoa potrošene energije, korisnog dejstva, angažovane snage, sa korisničkim interfejsom i pratećim IoT komponentama;
3. Sistem za bežični prenos energije – Uz pomoć mikrokontrolera, provodnika, tranzistora i kondenzatora, može se indukovati elektromagnetno polje i tako preneti energija bežičnim putem u cilju napajanja uređaja, kao što su mobilni telefoni i drugi IoT uređaji;
4. Sistem za nadgledanje kvaliteta životne sredine – Hardverske komponente i prateći softveri za uvid u stanje okoline i životne sredine;
5. Sistem za kontrolu pristupa objektima – Međusobno povezani RFID čitači i senzori za detekciju razdaljine i prisutnosti;
6. Sistem za prenos podataka preko LoRa (*Long Range Radio*) interfejsa - Korišćenjem LoRa modula moguće je preneti manje količine podataka, malom snagom i malom potrošnjom energije na velika rastojanja.

## 3. Multimedijalni IoT sistemi

Multimedija predstavlja skup dva ili više nezavisna medija i sastoji se od tekstualnih podataka, slike, videa, audio signala i animacije [7]. U zavisnosti od vrste

podataka koji se razmenjuju, kod IoT sistema koriste se pojmovi skalarni i multimedijalni IoT [8].

Skalarni IoT čine tekstualni podaci, najčešće dobijeni sa senzora. Skalarni podaci nisu zahtevni u pogledu memorijskih resursa i reda veličine su kB. Ovi podaci ne utiču značajno na potrošnju energetske resursa i uglavnom nemaju stroge zahteve za kašnjenjem.

Multimedijalni IoT (MIoT) čine podaci u vidu slike, zvuka, videa i animacije. Multimedijalni podaci imaju stroge zahteve u pogledu kašnjenja, generišu velike količine podataka, što povlači za sobom veće memorijske i transmisionne kapacitete, zahtevnije procesorske jedinice za obradu signala i duže vreme obrade. U tabeli 1 dat je prikaz nekih izvora i vrsta podataka kod IoT sistema.

*Tabela 1. Primeri izvora i vrste podataka kod IoT sistema*

<b>Izvor podataka</b>	<b>Opis i vrsta podataka</b>
senzori za nadgledanje parametara kvaliteta životne sredine (kvalitet vazduha, prisustvo štetnih čestica, vlažnost, temperatura, kvalitet vode)	alfanumerički podaci manjeg obima
kamere	podaci većeg obima uključuju sliku, zvuk i video
ultrazvučni senzori razdaljine	alfanumerički podaci o odnosu posmatranog objekta i samog uređaja za detekciju
aktuatori	alfanumerički podaci o radu elektromotora, koračnih ( <i>step</i> ) motora, releja
RFID uređaji	mogu da sadrže vrednosti jedinstvenog ključa za pristup – pretežno alfanumerički
autonomna vozila	heterogeni podaci, uključujući tekst, sliku, video i zvuk
uređaji za prikupljanje i merenje energije	pretežno alfanumerički podaci manjeg obima, osim ukoliko sistem nije opremljen dodatnim uređajima poput kamera (multimedijalni podaci)

#### **4. Osobine saobraćaja IoT aplikacija**

Kao što je pomenuto, međusobno povezani IoT uređaji generišu mrežni saobraćaj. Ukoliko se mreža sastoji od različitih uređaja, razmenjuju se podaci iz više izvora, a sama heterogenost podataka ukazuje na prisustvo više medija, poput alfanumeričkih podataka, slike, videa, audio sadržaja, animacije, što saobraćaj čini multiservisnim i agregiranim. Saobraćaj se može posmatrati na nekoliko nivoa [9]:

- nivo paketa – Parametar koji se posmatra na vremenskoj osi je vreme prenosa paketa, tj. transmisiono vreme, pri čemu se pod pojmom "paketa"

podrazumeva niz bitova korisničkih podataka i bitova signalizacionih informacija, obrađenih pravilima mrežnog sloja.

- nivo tokova – Pod pojmom "tok" podrazumeva se jednosmerni sled paketa, koji prolaze kroz neki entitet mreže, a bitan parametar ovog nivoa je trajanje toka.
- nivo *burst*-ova – *Burst* se definiše kao nalet ("prasad") paketa, a bitan parametar koji se posmatra je komunikaciono vreme. Naleti paketa nastaju grupisanjem više paketa.
- nivo sesije – Sesija se sastoji od više sukcesivnih i paralelno emitovanih tokova za period aktivnosti korisnika. Parametar od značaja nivoa sesije je vreme korisničkog servisa.
- nivo aplikacije – Aplikacioni, kao najviši sloj mrežnog modela, predstavlja samu aplikaciju, a parametar koji se posmatra na ovom sloju je vreme toka ili konekcije.

Uopštena podela saobraćaja na nivou tokova je na striming i elastični saobraćaj. Striming saobraćaj je karakterističan za vremenski osetljive aplikacije, poput prenosa glasa Internet protokolom (VoIP, *Voice over Internet Protocol*), video konferencija, video igara, audio i video striminga, kao i kod servisa gde se zahteva prenos u realnom vremenu. Bitni parametri kvaliteta servisa (QoS, *Quality of Service*) su kašnjenje, varijacija kašnjenja (džiter), kao i gubitak paketa. Elastični saobraćaj je zastupljen kod *web* aplikacija sa HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) i FTP (*File Transfer Protocol*), a takođe i kod *e-mail* servisa.

Sličnost saobraćaja samom sebi (*self-similarity*) može se numerički izraziti *Hurst*-ovim ( $H$ ) parametrom, a manifestuje se preko: *Hurst*-ovog efekta, sporog opadanja varijanse, zavisnosti u dužem vremenskom opsegu, nedegenerativne autokorelacije, zadržavanja svojih promena nezavisno od vremenske skale. Za empirijsku vremensku seriju  $X_t$  ( $t = 1, \dots, n$ ), sa srednjom vrednošću uzorka  $X(n)$  i varijansom  $S^2(n)$ , može se definisati *R/S* statistika (*Rescaled Adjusted Range*), data sa  $R(n)/S(n)$ , pri čemu važi

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

Vrednosti  $H$  parametra za pozitivnu korelaciju su u opsegu od 0,5 do 1. Kod realnih procesa vrednost  $H$  parametra je oko 0,73, dok vrednost 0,5 odgovara čisto slučajnom procesu, a vrednost 1 egzaktno *self-similar* procesu.  $H$  parametar Internet saobraćaja je u opsegu od 0,7 do 0,8, a kod Ethernet saobraćaja između 0,8 i 0,95, usled povećane heterogenosti servisa.

Uzrok *self-similar* fenomena kod mrežnog saobraćaja je najčešće video saobraćaj sa promenljivom bitskom brzinom (VBR, *Variable Bit Rate*). Mrežni saobraćaj sa *self-similar* fenomenom može imati štetan uticaj na performanse mreža, poput povećanog kašnjenja i gubitka paketa [9]. Skalarni IoT saobraćaj se obično razlikuje od MIoT saobraćaja, jer sadrži manje pakete i podržava uskopojasne aplikacije, NB-IoT (*Narrow-Band Internet of Things*). NB-IoT podržava prenos manjih paketa u propusnom opsegu od 200 MHz uz manju potrošnju energije i optimizacione tehnike za energetska efikasnost, kao i uštedu energije (PSM, *Power Saving Mode*) i eDRX (*Extended Discontinuous Reception*). Kod MIoT saobraćaja zastupljen je prenos videa i podataka osetljivih na kašnjenje, a samim tim je i izraženiji *Hurst*-ov efekat. Sagledavanjem

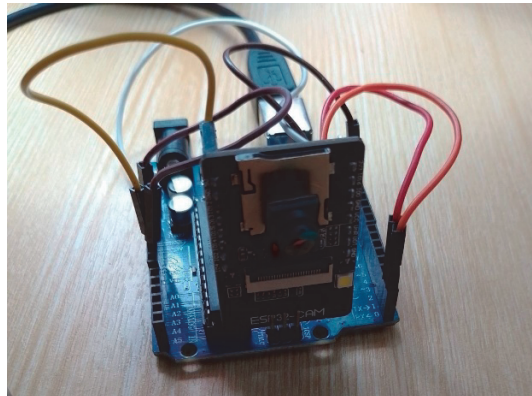
promena  $H$  parametra mogu se detektovati anomalije u (IoT) mreži i na taj način smanjiti štetan uticaj na mrežne performanse [10-12]. Pod "anomalijom" IoT saobraćaja podrazumevaju se promene koje nisu karakteristične za uobičajeni intenzitet saobraćaja, a mogu nastati pri velikim gubicima paketa, povećanju intenziteta saobraćaja, napadima, slanju velikog broja zahteva, itd. Karakteristični napadi u IoT okruženju, kao i adekvatni mehanizmi za njihovu detekciju, analizirani su u [13].

U cilju unapređenja mrežnih performansi bitno je adekvatno modelovanje saobraćaja. Saobraćajni modeli se mogu zasnivati na stohastičkim procesima, a metode za njihovo određivanje se tada vrše podešavanjem i usklađivanjem (*fitting*) statističkih parametara, kao što su varijansa, autokorelacija,  $H$  parametar [14]. Stohastički proces se sastoji i opisuje preko slučajnih promenljivih. Njima se pridružuju vrednosti realnih procesa, a zatim merenjem, ponavljanjem eksperimenata nastaje model koji opisuje prirodni ili veštački saobraćajni proces. Ključni elementi modelovanja saobraćaja su teorija, merenja i razvoj modela. Primeri modela saobraćaja koji su zasnovani na stohastičkim procesima su: model sa prilagođavanjem parametara, Poasonov proces, Poasonov proces sa markovskom modulacijom (MMPP, *Markov Modulated Poisson Process*) pogodan za *burst* – saobraćaj sa naletima paketa, autoregresivni Gausov proces, eksponencijalni autoregresivni proces, itd.

Za realniji model Internet saobraćaja koristi se Poasonov Pareto *burst* proces (PPBP, *Poisson Pareto Burst Process*), sa zavisnošću u dugom opsegu (LRD, *Long Range Dependent*), kod koga se naleti paketa predstavljaju preko procesa Poasona.

## 5. Postavke IoT sistema na kome je vršeno merenje saobraćaja

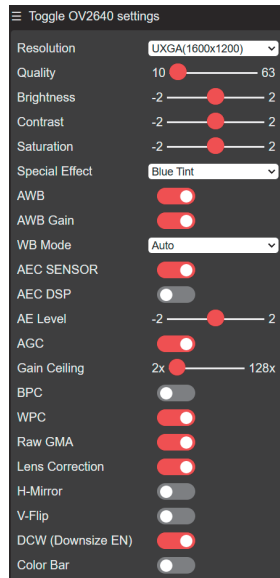
U cilju prikaza performansi IoT mreže, posmatrač se IoT rešenje sa ESP32 OV2640 kamerom, povezanom Arduino Uno R3 razvojnom pločom sa ATmega328P mikrokontrolerom, što se može videti na slici 1.



Slika 1. ESP32 kamera i Arudino Uno R3 razvojna ploča

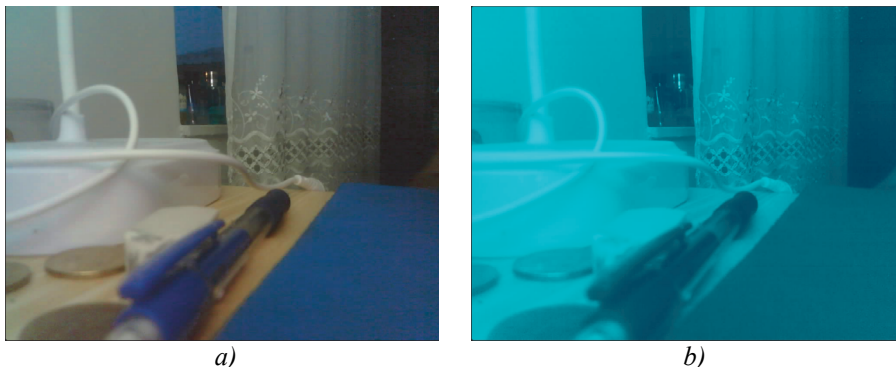
Nakon hardverskog povezivanja kamere sa mikrokontrolerom potrebno je očitati odgovarajući programski kôd i na taj način omogućiti rad kamere. Imajući u vidu da je u pitanju kamera sa *web* interfejsom, bitni podaci su naziv mreže, (SSID, *Service Set Identifier*) i lozinka za pristup mreži. Prilikom unosa naziva željene mreže i lozinke

generiše se IP adresa kamere, koja ujedno predstavlja adresu za pristup GUI (*Graphical User Interface*) kamere i njenim opcijama. Kamera je povezana na bežičnu lokalnu mrežu, a unosom IP adrese i broja porta pokreće se korisnički interfejs sa opcijama, kao na slici 2.



Slika 2. Opcije iz GUI ESP32 kamere

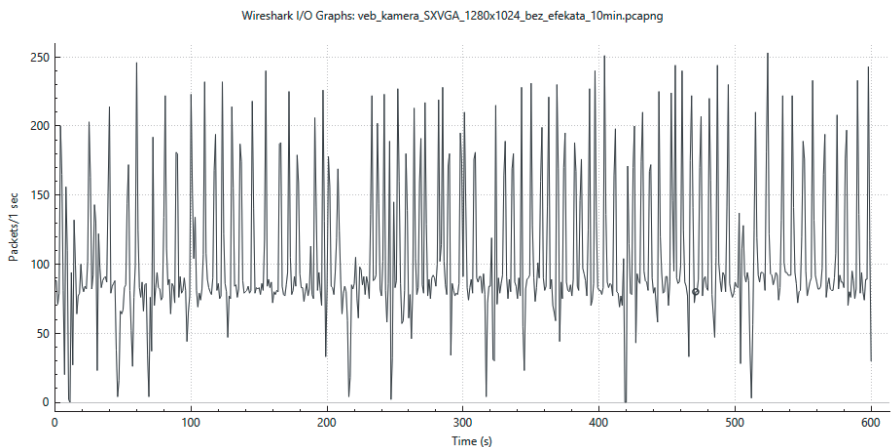
Kao što se može primetiti, korisniku su na raspolaganju opcije za odabir rezolucije slike kamere, kvaliteta, osvetljenja, kontrasta, zasićenja, specijalnih efekata, kao i napredne opcije za poboljšanje vizuelnog prikaza slike. Na slici 3 dat je prikaz slike sa IoT ESP32 kamere bez primene specijalnih efekata i sa primenom efekta plave nijanse.



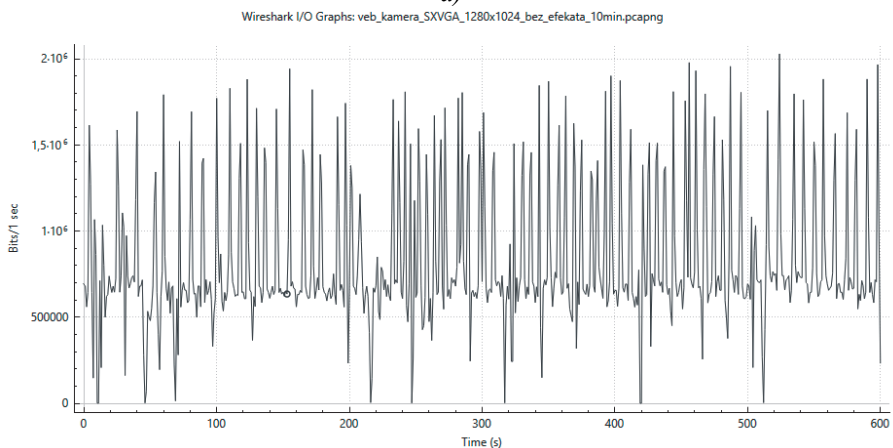
Slika 3. Prikaz slike sa IoT ESP32 kamere  
a) bez primene specijalnih efekata, b) sa primenom efekta plave nijanse.

## 6. Rezultati merenja IoT saobraćaja

Merenje je sprovedeno primenom softverskog alata *Wireshark*, koji omogućuje snimanje i analizu saobraćaja. Saobraćaj sa IoT kamere je posmatran u devet merenja od po deset minuta. Za svaki tip rezolucije slike XGA 1024×768, SXVGA 1280×1024 i UXVGA 1600×1200, respektivno, izvršeno je merenje saobraćaja: (a) bez primene efekta (b) sa efektom inverznih boja i (c) sa efektom plave nijanse. Za svako merenje formirana je vremenska serija sa 600 elementa, na osnovu izmerenog intenziteta saobraćaja. Na slici 4, prikazani su primeri dobijenih zapisa (*trace*) intenziteta saobraćaja izraženog u a) paketima/s i b) bitima/s. Može se primetiti da nema značajnog odstupanja, što ukazuje na ujednačenu veličinu paketa. To je zapaženo i u okviru statističkih podataka dobijenih *Wireshark* alatom, gde je na osnovu raspodele dužine paketa uočeno da je skoro 65% paketa dužine 1490 B, što je ujedno i maksimalna veličina paketa.



a)



b)

Slika 4. Intenzitet saobraćaja snimljenog sa IoT kamere izražen u a) paketima/s i b) bitima/s

Za određivanje  $H$  parametra razvijen je sopstveni alat u *JavaScript* okruženju, baziran na  $R/S$  statistici, sa izračunavanjem opsega preko relacije (1). Korišćena je činjenica da  $R/S$  statistika, odnosno  $E[R(n)/S(n)]$ , raste sa eksponentom  $H$ , tako da se pri logaritamskim skalama, linearnom regresijom, dobija estimacija sa gradijentom  $H$ . Dobijene vrednosti, kao i srednje vrednosti  $H$  parametra, za saobraćaj posmatran u paketima/s, prikazane su u tabeli 2, dok su za saobraćaj posmatran u bitima/s, rezultati prikazani u tabeli 3.

Tabela 2.  $H$  parametar za saobraćaj posmatran u paketima/s

Rezolucija/Efekat	Bez efekata	Efekat inverznih boja	Efekat plave nijanse	$\bar{H}$
XGA 1024×768	0,81	0,78	0,79	0,79
SXVGA 1280×1024	0,72	0,84	0,72	0,76
UXVGA 1600×1200	0,66	0,76	0,79	0,74
$\bar{H}$	0,73	0,79	0,77	<b>0,76</b>

Tabela 3.  $H$  parametar za saobraćaj posmatran u bitima/s

Rezolucija/Efekat	Bez efekata	Efekat inverznih boja	Efekat plave nijanse	$\bar{H}$
XGA 1024×768	0,68	0,77	0,73	0,73
SXVGA 1280×1024	0,80	0,72	0,80	0,77
UXVGA 1600×1200	0,87	0,77	0,77	0,80
$\bar{H}$	0,78	0,75	0,77	<b>0,77</b>

Na osnovu rezultata dobijenih pri promeni rezolucije slike ESP32 kamere i primene video efekata može se zaključiti da nije zabeleženo znatno odstupanje od srednje vrednosti  $H$  parametra, koja iznosi 0,765, a bliska je karakterističnoj vrednosti za realne procese. Imajući u vidu da povećanje rezolucije slike sa sobom povlači povećanje intenziteta saobraćaja, primećeno je i povećanje vrednosti  $H$  parametra u slučaju merenja na nivou bita, što može dovesti do zaključka da ovaj pristup verodostojnije oslikava promene svojstva saobraćaja. Primena efekata značajnije je uticala na promenu posmatranog parametra (do 13%), što može biti iskorišćeno za detekciju grešaka u prenosu ili napada, jer su efekti korišćeni kao simulacija ovih anomalija.

## 7. Zaključna razmatranja

Kontinuirano praćenje i analiza saobraćaja su od izuzetne važnosti za održavanje visokog nivoa pouzdanosti i bezbednosti mrežnog okruženja. U ovom radu sagledane su mogućnosti praćenja svojstva multimedijalnog saobraćaja u IoT okruženju preko  $H$  parametra. Namera je da se ovaj parametar koristi za poređenje saobraćaja u periodima regularnog funkcionisanja mreže i saobraćaja kada se u mreži dešavaju anomalije uzrokovane otkazima nekog elementa sistema, ili kompromitovanjem bezbednosti. Dobijeni rezultati merenja i sprovedena analiza pokazuju opravdanost ove namere i usaglašeni su sa vrednostima iz aktuelne literature.



Buduća razmatranja mogla bi se odnositi na posmatranje scenarija saobraćaja manjeg i većeg intenziteta, kao i mešanje različitih tipova saobraćaja uz povećanje broja i heterogenosti IoT uređaja, kao i poređenje rezultata korišćenja IoT kamera u različitim mrežnim okruženjima. Takođe, predviđena je i primena drugih metoda za određivanje  $H$  parametra. Cilj bi bio ostvaren kreiranjem mehanizma za detekciju problema i napada u IoT okruženju primenom nekog od algoritama mašinskog učenja.

## Literatura

- [1] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, Oct. 2010, pp. 2787-2805, DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [2] B. Bakmaz, Z. Bojković, M. Bakmaz, "Osnovna svojstva BPP saobraćaja mobilnih mreža", *Zbornik radova PosTel 2021*, Beograd, Dec. 2021, str. 169-178.
- [3] M. Bakmaz, B. Bakmaz, "Mogućnosti autoregresionih modela telekomunikacionog saobraćaja", *Zbornik radova PosTel 2006*, Beograd, Dec. 2006, str. 255-262.
- [4] P. T. Anh Mai, J. K. Nurminen, M. Di Francesco, "Cloud databases for Internet-of-Things data", *Proc. IEEE International Conference on Internet of Things (iThings)*, Sep. 2014, pp. 117-124, DOI: 10.1109/iThings.2014.26.
- [5] Д. В. Анато́льевич, Д. Д. Вита́льевич, "Интернет Вещей: концепция, приложения и задачи", *Ежеквартальный рецензируемый, реферлируемый научный журнал «Вестник АГУ»*, vol. 1, no. 216, 2018, str. 129-135.
- [6] N. Amangeldiyev, P. Siegfried, "Concepts, applications and challenges of the Internet of Things", *IT Journal Research and Development (ITJRD)*, vol. 7, no. 2, Mar. 2023, pp. 1-12, DOI: 10.25299/itjrd.2022.9110.
- [7] A. Samčović, *Multimedijalne komunikacije*, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2015.
- [8] Y. B. Zikria, M. K. Afzal, S. W. Kim, "Internet of Multimedia Things (IoMT): Opportunities, challenges and solutions", *Sensors 2020*, vol. 20, Apr. 2020, DOI: 10.3390/s20082334.
- [9] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, 2008.
- [10] P. Dymora, M. Mazurek, "Anomaly detection in IoT communication network based on spectral analysis and Hurst exponent", *Applied Sciences*, vol. 9, no. 24, Dec. 2019, DOI: 10.3390/app9245319.
- [11] P. Dymora, M. Mazurek, "Influence of model and traffic pattern on determining the self-similarity in IP networks", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, DOI: 10.3390/app11010190.
- [12] Q Li, et al., "Traffic self-similarity analysis and application of industrial internet", *Wireless Networks*, vol. 30, July 2024, pp. 3571-3585, DOI: 10.1007/s11276-020-02420-1.
- [13] S. Hajjheidari, et al., "Intrusion detection systems in the Internet of Things: A comprehensive investigation", *Computer Networks*, vol. 160, Sep. 2019, pp. 165-191, DOI: 10.1016/j.comnet.2019.05.014.
- [14] M. Zukerman, *Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models*, EE Department City University of Hong Kong, 2000-2024.

**Abstract:** *It is well known that multimedia traffic shows self-similarity when observed at different time scales and its properties can be quantitatively expressed by Hurst (H) exponent. In this paper, performances of multimedia IoT (Internet of Things) traffic on various levels are analyzed, considering different scenarios for picture resolutions and applied effects. A comparison of obtained and current results from the open literature is provided.*

**Keywords:** *Arduino, ESP32 camera, Hurst exponent, IoT, multimedia traffic, self-similarity*

## **PROPERTIES OF MULTIMEDIA TRAFFIC IN IoT APPLICATIONS**

Andreja Samčović, Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Ana Gavrovska