

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954752/POSTEL.2023.016>

TEHNIKE OBRADJE MULTIMEDIJE U REALNOM VREMENU KOD IoT SISTEMA

Ana Gavrovska¹, Aleksandar Luković²

¹Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.rs

²Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, a.lukovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Razvojem IoT sistema dolazi do povećanja generisanja podataka. Pored tekstualnog tipa podataka javlja se prenos slike, zvuka i videa, tj. multimedijalnih podataka. Multimedijalni podaci utiču na povećanje opterećenja IoT sistema, memorijski kapacitet, složenost operacija, energetske resurse, brzinu izvršavanja naredbi, itd. Multimedia (pozitivno) utiče i pospešuje pojavu novih vrsta aplikacija. Tako se i javlja potreba za obradom multimedije u realnom vremenu. Cilj ovog rada je prikaz i opis tehnika obrade multimedije u realnom vremenu, sa ukazivanjem na trenutne izazove u različitim oblastima primene IoT tehnologija.*

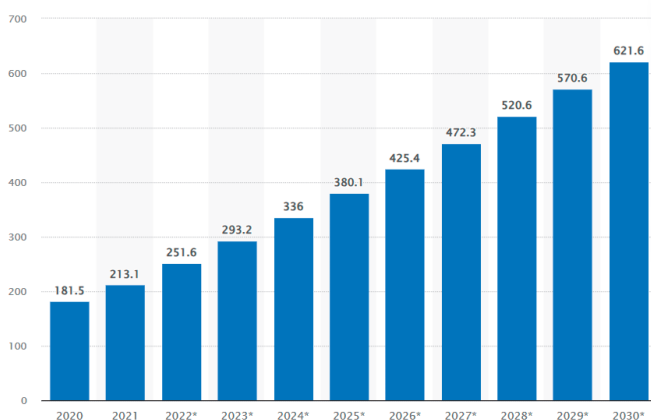
Ključne reči: *IoT, IoMT, MIoT, obrada multimedijalnih signala, obrada multimedije u realnom vremenu*

1. Uvod

Internet stvari tj. internet pametnih uređaja (IoT, *Internet of things*) predstavlja međusobno povezane fizičke i virtuelne uređaje („stvari“), koji komuniciraju i razmenjuju podatke sa okolinom. IoT je svojim širenjem našao primenu u raznim oblastima [1]. Neke od najznačajnijih i najzastupljenijih oblasti primene IoT sistema su:

- pametni gradovi – neki od elemenata pametnih gradova su pametni semafori, senzori za prikupljanje podataka, bežične senzorske mreže (WSN, *Wireless Sensor Networks*), pametni putevi sa pratećom infrastrukturom, pametne zgrade, itd;
- pametne energetske mreže – sistemi i senzori za prikupljanje podataka o potrošnji energije i energetskim resursima;
- pametna industrija – uređaji koji prate proizvodnju i vrše optimizaciju procesa upravljanja;
- digitalno zdravlje – pametni senzori za praćenje zdravlja i procesa oporavka pacijenta;
- multimedijalni sistemi – internet multimedijalnih uređaja (IoMT, *Internet of Multimedia Things*), pametni prenosivi uređaji (*wearables*), sistemi za nadzor, sistemi za upravljanje i SCADA sistemi (*Supervisory Control and Data Acquisition*), internet audio uređaja (IoAuT, *Internet of Audio Things*).

Na Slici 1 se može videti prikaz ukupnog godišnjeg (i očekivanog) prihoda širom sveta u domenu IoT tehnologije za period od 2020. do 2030. godine. Izvor podataka je sajt *Statista* (veb adresa: <https://www.statista.com/>). Na x osi grafika je vremenski period od pomenutih deset godina, a na y osi prihod od IoT u milijardama dolara.



Slika 1. Ukupan godišnji prihod širom sveta kod IoT-a od 2020. do 2030. godine [izvor: <https://www.statista.com/>]

Sa ove slike se može primetiti konstantni rast prihoda od IoT po godinama. Statistike u pogledu zastupljenosti IoT tehnologije kod pametnih gradova, industrije i pametnih energetske mreže gotovo da imaju isti tok funkcije, tj. beleži se stalni rast iz godine u godinu.

Imajući u vidu najnovije podatke sa sajta [2], trenutni broj povezanih IoT uređaja je približno 13,15 milijardi. U narednih sedam godina se očekuje broj od preko 25 milijardi povezanih uređaja. Broj IoT platformi u poslednje četiri godine je udvostručen i očekuje se dalji rast.

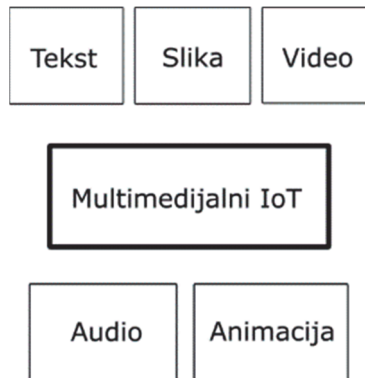
Glavni izazovi kod IoT-a koje navodi sajt [2] se odnose na: obradu senzorskih podataka, računarsku viziju, prepoznavanje govora, bezbednosni aspekt IoT-a, nedovoljno osposobljene kadrove za implementaciju bezbednosti IoT-a, zaštitu, prepoznavanje i pronalaženje osetljivih podataka. Takođe su zastupljeni problemi privatnosti, nedostatak efikasne kontrole pristupa, autentifikacije korisnika i (bezbednosnih) standarda. IoT će u budućnosti takođe biti koristan za proizvodnju, poljoprivredu i povezana vozila.

2. Multimedija kod IoT sistema

Multimedijalni signali se kod IoT sistema mogu kategorizovati i podeliti na: tekstualne podatke, sliku, video, audio i animaciju [3], kao što je ilustrovano na Slici 2.

Tekstualni podaci su najviše zastupljeni kod klasičnog tj. „skalarnog“ IoT-a (bez multimedije), gde dolazi do njihove razmene između senzora za praćenje određenih aktivnosti u životnoj sredini. Primeri su bežične senzorske mreže (WSN), podaci o temperaturi i vlažnosti vazduha, nivou zagađenja vazduha, režimu rada uređaja,

programske naredbe, itd. Ovakvi podaci ne zauzimaju mnogo memorijskog prostora. Slika kao vrsta multimedijalnog signala se kod IoT sistema pojavljuje kod kamera, pametne industrije, upravljačkih sistema i prenosivih uređaja.



Slika 2. Multimedijalni IoT

Video signali nastaju prenosom većeg broja slika u jedinici vremena. Zastupljeni su kod video kamera, kamera sa režimom snimanja od 360 stepeni, sistema za upravljanje i nadzor. Animacija je složeni multimedijalni signal, a može se pojaviti u svim sistemima gde se javlja i video signal. Kao sastavni i prateći deo multimedije javlja se i zvuk. Kod IoT sistema, zvuk dolazi sa signalima slike, videa i animacije. Posebna grana IoT-a koja proučava audio signale je internet audio stvari (IoAuT, *Internet of Audio Things*).

Ukoliko je cilj da IoT mreža prvenstveno prenosi multimedijalne signale, tada se umesto pojma IoT koristi pojam IoMT (*Internet of Multimedia Things*), tj. internet multimedijalnih stvari, sa naznakom „M“, koja se odnosi na multimediju. Pored pretežno tekstualnih podataka kod klasičnih IoT sistema, IoMT sistemi podržavaju prenos teksta, slike, videa, zvuka i njihovog međusobnog združivanja. Na taj način dolazi do proširenja standardnih vrsta podataka, a takođe i samih uređaja. Za realizaciju multimedijalnih signala je potreban odgovarajući IoT hardver sa naprednijim performansama i mogućnostima u pogledu izvršavanja operacija i složenijih proračuna, (mikro)procesorske ili snage mikrokontrolera, memorijskih kapaciteta, kao i osetljivosti na kašnjenje [4].

3. Obrada signala u realnom vremenu

Obrada signala predstavlja odabir ulaznog signala, izmene njegovih karakteristika nakon primene filtera, izmene talasnog oblika signala, pretvaranja iz jednog domena u drugi, kodovanje, dekodovanje, modulaciju, demodulaciju i ostale, a kao rezultat ima dobijanje izlaznog signala. Na raspolaganju su različita softverska rešenja/alati/paketi i hardverske komponente.

Obrada signala u realnom vremenu podrazumeva operacije koje donose promene ulaznog signala sa što manje kašnjenja, tj. što približnije trenutku njegovog izvršavanja. Na taj način se veoma brzo (trenutno) dobija i izlazni, obrađeni signal. Signali mogu biti različitog tipa, od tekstualnih i numeričkih - dobijenih sa senzora do združenih -

multimedijalnih. Akcenat ovog rada je na multimedijalnim signalima i primeni kod IoT sistema.

Naime, glavna tema ovog rada su tehnike obrade multimedijalnih signala u realnom vremenu kod (multimedijalnih) IoT sistema. Samim tim, glavne celine rada su:

- obrada multimedije u realnom vremenu tehnikama resursa ugrađene memorije (*in-memory*) i blokčejn tehnologija – ovde su multimedijalni signali posmatrani kao jedna celina (nisu razdvajani na tekst, sliku, video i animaciju, ali i interaktivnost);
- obrada slike u realnom vremenu metodama šifrovanja (enkripcije) uz haotične mape i
- obrada videa u realnom vremenu tehnikama adaptivne estimacije pokreta i detekcije anomalija.

Nakon tehnika obrade multimedije kod IoT sistema u ovom radu su navedene i specifične aplikacije.

Pri velikoj količini generisanih multimedijalnih podataka, nastaje pojam *multimedia big data*. Ova oblast je postala praktično samostalna. Pojavljuje se nova metoda obrade multimedijalnih signala u realnom vremenu korišćenjem resursa ugrađene memorije (*in-memory*). Akcenat je na brzom adresiranju i upotrebi keš (*cache*) memorije umesto čuvanja podataka na hard disku. Čuvanje podataka se sa hard diska premešta i obavlja u bazama podataka, a obrada se vrši uz pomoć interakcije centralne procesorske jedinice (CPU, *Central Processing Unit*) sa RAM (*Random Access Memory*) memorijom.

Rad [5] predlaže matematički model obrade multimedije u realnom vremenu koristeći obradu u memoriji, kao i i troslojni IoT model. Struktura IoT mreže se deli na tri sloja: senzorski, ivični i mrežni sloj. Pri analizi performansi modela izdvajaju se dve metrike: ukupno kašnjenje i stepen alokacije resursa. Rezultati su pokazali da pristup obrade multimedijalnih signala korišćenjem resursa ugrađene memorije daje povoljnije rezultate u pogledu ukupnog kašnjenja, a takođe se postiže efikasna alokacija resursa.

Jedna od primena obrade slike u realnom vremenu kod IoT sistema je enkripcija slika. Enkripcija slika je složeni postupak i razlikuje se od enkripcije teksta, pre svega zbog obima podataka. Za postizanje uspešne enkripcije slike treba razviti nove standarde, algoritme i sisteme. Primer implementacije jednog takvog sistema je dat u radu [6].

U tom radu je detaljno izložen analitički postupak enkripcije (šifrovanja) slika u realnom vremenu uz pomoć metode haotičnih mapa. Haotične mape služe za poboljšanje generatora pseudo-slučajnih brojeva (PRNG, *Pseudorandom Number Generators*). U radu se razmatraju četiri tipa jednodimenzionalnih (1D) haotičnih mapa.

Korišćeni protokol za prenos enkriptovanih (šifrovanih) slika je MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). MQTT protokol služi za bezbedan prenos poruka kod IoT, klad (*cloud*, oblak) sistema i ugrađenih (*embedded*) uređaja. Koristi jednostavnu autentifikaciju unošenjem korisničkog imena i lozinke. Zahteva postojanje MQTT brokera, tj. centralizovanog servera za prikupljanje, prosleđivanje i prenos poruka. Obrada slike u realnom vremenu je danas popularna na primer kod prevoda teksta unutar same slike sa jednog jezika na drugi.

Poznato je da je video rezultat objedinjavanja više slika – frejmova/okvira (*frames*) u jedinici vremena. Tako se dolazi do pojma „broj frejmova u sekundi“, tj. (FPS, *frames per second*) kao jedne od osnovnih jedinica u oblasti video signala. Osobina ljudskog oka je da ne primeti pojedinačnu promenu slika pri promeni više od 25/30 slika u sekundi, pa je subjektivni osećaj takav da je video iz jednog dela.

Osnovna jedinica kod obrade video signala je video segment (*video chunk*). Jedan video segment sadrži jedan ili više video okvira, tj. frejmova. Obrada video signala

se može uopštiti na dve vrste. Prva vrsta obrade video signala uključuje predobradu (*preprocessing*) video segmenta, gde se uklanjaju određeni podaci u cilju kasnije brže obrade i prenosa ka udaljenom IoT serveru za obradu. Druga vrsta obrade video signala se odnosi na prenos originalnog video signala serveru za obradu.

Pri prenosu video signala kod IoT sistema u mreži nastaju velika opterećenja, pre svega zbog same kompleksnosti video signala u vidu količine podataka i memorijskog zauzeća. Primeri primene obrade signala u realnom vremenu su kod video kamera gde je potrebno prepoznavanje određenih objekata, proračun brzine kretanja vozila, detekcija krađe, detekcija požara, prevođenje teksta video zapisa sa jednog jezika na drugi, itd. Obrada videa u realnom vremenu može biti veoma kompleksna. Potrebno je obezbediti kvalitetnu obradu signala, a da se pritom ne naruše performanse kvaliteta servisa (*QoS, Quality of Service*). Trenutno najpopularniji standardi za video kodovanje su H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 i AV1. Najnoviji standardi u razvoju su H.266/VVC i MPEG-5 (EVC).

Kod kompresije video signala cilj je odvojiti korisni deo podataka (entropiju) od suvišnog (redundance) i tako uštedeti na memorijskim resursima, a dobiti na smanjenju vremena obrade i kodovanja. Estimacija pokreta (ME, *Motion Estimation*) je jedna od metoda za uštedu memorijskih resursa i poboljšanje brzine kodovanja. Prepoznavanje objekata i estimacija pokreta video objekata su danas takođe popularne tehnike kod obrade video signala u realnom vremenu. Estimacija pokreta je proces određivanja kretanja objekta datog bloka u odnosu na njemu susedne blokove. Postoje neadaptivne i adaptivne metode estimacije pokreta. Neadaptivne metode se zasnivaju na fiksnom šablonu pretrage različitosti piksela. Kod adaptivnih metoda se vrši pretraga piksela u zavisnosti od stepena kretanja video objekta.

Rad [7] definiše algoritam estimacije pokreta zasnovan na blokovima koji su svesni konteksta (*context-aware*) u video sadržaju kao multimedijalnom elementu IoT sistema. Navedeni algoritam se svrstava u adaptivne metode estimacije pokreta, a stepen kretanja video objekta se određuje na osnovu razlike u pikselima referentnog i njemu susednog bloka. Algoritam definiše „prag“ (*threshold*) na osnovu koga se određuje vrsta kretanja objekta (sporo kretanje, srednja brzina kretanja, velika brzina kretanja). Neki od primera bi bili: saobraćaj – srednja brzina kretanja, košarkaška utakmica – srednja i velika brzina kretanja, kretanje kornjače – spora brzina kretanja.

Drugi primer obrade video signala u realnom vremenu je detekcija anomalija kod video signala u realnom vremenu. Detekcija anomalija je važan aspekt obrade signala u realnom vremenu, jer se na taj način otkrivaju pojave koje nisu uobičajene u određenom „uobičajenom“ stanju video zapisa. Rad [8] navodi sledeće metode detekcije anomalija: otkrivanje neovlašćenog pristupa digitalnom video zapisu, prostorno-vremensku strukturu video volumena, otkrivanje promena u realnom vremenu, detekciju brisanja frejmova, itd. Takođe se i predlaže novi pristup detekcije anomalija koristeći mreže dubokog učenja (DBM, *Deep Belief Networks*).

Ivično računarstvo (*edge computing*) je aktuelna mrežna tehnologija, gde mrežni čvorovi (različiti krajnji uređaji) učestvuju u obradi podataka. Na taj način se rasterećuje centralni mrežni server za obradu podataka i poboljšava rad mreže.

Kod ivičnih mrežnih (IoT) sistema postoji više čvorova i svaki čvor ima mogućnost obrade (video) signala. Cilj ovakvih mreža je, uopšteno, a i posebno kod multimedijalnih IoT sistema postizanje brže obrade video i multimedijalnih signala, rasterećivanjem centralnog servera, kao što je i prethodno rečeno. U slučaju video signala

osetljivog na kašnjenje i ostale karakteristike QoS, efikasno rešenje je podela video signala na manje video segmente i paralelna obrada video segmenata uz pomoć više čvorova.

Rad [9] izlaže ivičnu mrežnu platformu za obradu video signala kod multimedijalnih IoT sistema. Pomenuta platforma je zasnovana na „laganoj“ (*lightweight*) tehnologiji virtuelne predstave procesa i podataka (*virtualization*) i združenoj (kooperativnoj) obradi uz *Docker Swarm* mehanizam. U tom cilju se dolazi do tri vrste primene: nadgledanje u pametnim gradovima, satelitske mreže i internet vozila (IoV, *Internet-of-Vehicles*). Takođe je predstavljen i opšti model obrade video signala na ivičnom delu mreže.

Neke od specifičnih vrsta obrade video signala kod multimedijalnih IoT sistema su:

- obrada video striminga u realnom vremenu – vrlo osetljiv na kašnjenje, zahteva se stabilna internet konekcija;
- video igre – sadrže velike količine podataka koje treba preneti, vizuelne i zvučne efekte, a zahtevaju računarske komponente visokih performansi i
- obrada videa u oblasti telemedicine – telemedicina ili medicina na daljinu je tehnologija čije video signale za prenos odlikuje visoka osetljivost na kašnjenje, a zahteva se pouzdana komunikacija.

U Tabeli 1 se nalazi lista nekih IoMT aplikacija sa podacima o osetljivosti na mrežno kašnjenje.

Tabela 1. Lista nekih aplikacija i njihova osetljivost na kašnjenje

Aplikacija	Osetljivost na kašnjenje
Video striming u realnom vremenu	Visoka
Video igre	Visoka
Telemedicina	Visoka
Odloženo gledanje video zapisa	Niska
Podaci o temperaturi sa senzora	Srednja

Rad [10] objedinjuje specifične aplikacije kod multimedijalnih IoT sistema i daje predlog (radnog) okvira (*framework*) sistema za isporuku multimedijalnih IoMT servisa. Pristup sistemu imaju korisnici, a takođe i multimedijalni uređaji i senzori. Za pristup sistemu je neophodna autentifikacija. Sistem se zasniva na klaud platformi, a korisnici i uređaji nakon autentifikacije dobijaju pristup IoMT servisima uz odgovarajući IoMT softver. Sistem ima mogućnosti nadgledanja i kontrole procesa, upravljanja klaud prostorom, upravljanja resursima, distribucije multimedijalnih servisa, a podržava klaud (IaaS, PaaS, SaaS), maglu (*fog-*) i ivične mrežne servise. Imajući to u vidu, može se reći da su IoMT multimedijalni servisi raznovrsni.

4. Aktuelna rešenja za obradu multimedije u realnom vremenu kod IoT sistema

U Tabeli 2 je objedinjen prikaz aktuelnih rešenja za obradu multimedije u realnom vremenu kod IoT sistema. Navedeni su svi elementi literature korišćeni kao reference (ref.) za pisanje ovog rada.

Tabela 2. Aktuelna rešenja u oblasti obrade multimedije u realnom vremenu kod IoT sistema

Rad	Rešenje	Obrada u realnom vremenu	Ref.
<i>Real-Time Awareness Scheduling for Multimedia Big Data Oriented In-Memory Computing</i>	<ul style="list-style-type: none"> - troslojna IoT struktura - metoda planiranja zasnovana na informacijama zatvorene petlje za obradu signala u memoriji i rešenje za multimedijalne <i>big data</i> podatke u realnom vremenu 	✓	[5]
<i>Real-time RGB image encryption for IoT applications using enhanced sequences from chaotic maps</i>	<ul style="list-style-type: none"> - prikaz haotičnih mapa za enkripciju slika u realnom vremenu - algoritam za poboljšanje haotičnih sekvenci kod digitalne enkripcije slika - predložena šema za pouzdan prenos RGB slika u realnom vremenu - predložena šema simetričnog ključa šifrovanog protoka za IoT aplikacije korišćenjem poboljšanih haotičnih mapa - predloženi dekriptor protoka simetričnog ključa za IoT aplikacije koji koriste poboljšane haotične mape 	✓	[6]
<i>Context-aware block-based motion estimation algorithm for multimedia internet of things (IoT) platform</i>	<ul style="list-style-type: none"> - algoritam estimacije pokreta zasnovan na blokovima (BME, <i>Block-based Motion Estimation</i>) 	✓	[7]
<i>Anomaly Detection in Real-Time Videos using Match Subspace System and Deep Belief Networks</i>	<ul style="list-style-type: none"> - klasifikacija anomalija - tehnike detekcije anomalija - algoritam za detekciju anomalija 	✓	[8]
<i>Video Processing on the Edge for Multimedia IoT Systems</i>	<ul style="list-style-type: none"> - opšti model video obrade na ivičnom delu mreže - jednostavna ivična računarska platforma zasnovana na virtuelizaciji 	✓	[9]

<i>Innovation in Multimedia Using IoT Systems</i>	<ul style="list-style-type: none"> - blok šema IoMT platforme - objedinjena tabela sa trenutnim radnim okvirima za IoMT - prikaz multimedijalnih IoT aplikacija - predloženi radni okvir za distribuciju multimedijalnih servisa kod IoT - blok šema procesa transakcije čvora za pružanje IoT servisa 	✓	[10]
<i>A blockchain-based hybrid platform for multimedia data processing in IoT-Healthcare</i>	<ul style="list-style-type: none"> - šema aplikacija digitalnog zdravstva zasnovanih na blokčejn tehnologijama - predložena arhitektura okvira za obradu multimedije kod IoT aplikacija digitalnog zdravstva - dijagrami blokčejna i blokčejn transakcija 	✓	[11]
<i>A hybrid framework for multimedia data processing in IoT-healthcare using blockchain technology</i>	<ul style="list-style-type: none"> - blok šema primene blokčejn tehnologija kod IoT aplikacija - hibridni okvir za obradu multimedijalnih podataka kod IoT aplikacija za digitalno zdravstvo zasnovan na blokčejn tehnologijama 	✓	[12]
<i>The impact of the hybrid platform of internet of things and cloud computing on healthcare systems: opportunities, challenges and open problems</i>	<ul style="list-style-type: none"> - blok šema modela integracije klad i IoT tehnologija - nova paradigma <i>CloudIoT-Health</i> 	✓	[13]

5. Specifične aplikacije

U cilju očuvanja bezbednosti i privatnosti u realnom vremenu, kod IoT sistema se koriste blokčejn tehnologije. Kod aplikacija za digitalno zdravstvo razmenjuju se podaci o pacijentima, slike (sa ultrazvuka), nalazi o zdravstvenom stanju pacijenta u vidu tekstualnih podataka, slika i zvučnih datoteka. Neophodno je definisanje i razvoj mehanizama za bezbedan prenos i obradu podataka. Rad [11] predlaže hibridnu IoT platformu za digitalno zdravstvo zasnovanu na blokčejn tehnologijama.

Platformu bi koristilo osoblje zdravstvene (i više zdravstvenih) ustanova, kao i pacijenti. Pacijenti bi servisima IoT platforme pristupali preko grafičkog korisničkog interfejsa (GUI, *Graphical User Interface*) veb aplikacije. Veb aplikacija bi se sastojala od dva dela, korisničkog (*front-end*) i pozadinskog, tj. serverskog dela (*back-end*). Kao što je rečeno, preko korisničkog dela/interfejsa aplikacije, krajnji korisnik (pacijent ili zdravstveno osoblje) pristupa aplikaciji i servisima platforme. Serverski deo aplikacije se

sastoji od mreža, servera, baza podataka i svih sistema koji omogućavaju komunikaciju i rad korisničkog dela aplikacije, kao i blokčejn tehnologija. U serverskom delu blokčejn mreže se nalaze serveri za autentifikaciju i serveri za proveru transakcije (*miners*), koji transakcije dalje kopiraju u bazu podataka.

Blokčejn je veoma pogodna (ili skup više) tehnologija za postizanje bezbednosti i privatnosti, jer se beleži svaka promena transakcije i prenosa podataka u realnom vremenu. Rad [12] detaljno opisuje hibridni okvir za obradu multimedije kod digitalnog zdravstva zasnovanog na IoT i blokčejn tehnologijama.

U poređni razvoj IoT i klad računarstva doveo je do međusobne integracije ovih oblasti. Nakon toga su nastale paradigme *CloudIoT* i *Cloud of Things*. Usled konstantne pojave novih aplikacija i servisa, nastale su i nove tehnologije, a neke od njih su *CloudIoT-Health* i *Healthcare Industrial IoT (HealthIIoT)* [13]. U ovoj oblasti, obrada signala u realnom vremenu je potrebna za: analizu medicinskih podataka prikupljenih sa senzora, nadgledanja stanja pacijenta, donošenje odluka, uvid u proces oporavka, itd.

6. Zaključak

Multimedija je složena vrsta signala i uključuje veliki broj podataka. To je upravo jedan od razloga za povećano mrežno, procesorsko i energetske opterećenje IoT sistema. Potrebno je odgovoriti na samu kompleksnost multimedijalnih signala definisanjem i projektovanjem novih uređaja i platformi za prenos multimedijalnih podataka i obradu u realnom vremenu, koji bi odgovorili na zahteve korisnika.

U ovom radu je dat pregled trenutno aktuelnih tehnika obrade multimedije u realnom vremenu u različitim oblastima primene IoT sistema. Spektar IoT aplikacija je veoma širok, a istraživanja i zahtevi mogu dovesti do definisanja sveobuhvatnog okvira IoT sistema uz implementaciju definisanih modela u zavisnosti od primene. Budući izazovi su okrenuti ka definisanju opštih i specifičnih okvira i modela za obradu multimedijalnih signala kod IoT u realnom vremenu i poštošljanju postojećih.

Literatura

- [1] S. Kaur, I. Singh, "A Survey Report on Internet of Things Applications", *International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCSST)*, vol. 4, iss. 2, ISSN: 2347-8578 pp. 330 - 335, March, 2016.
- [2] IoT statistika, dostupno na: <https://explodingtopics.com/blog/iot-stats#iot-industry-size> (Pristup: septembar, 2023.)
- [3] A. Samčović, *Multimedijalne komunikacije*, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, 2015.
- [4] Y. B. Zikria, M. K. Afzal, S. W. Kim, „Internet of Multimedia Things (IoMT): Opportunities, Challenges and Solutions“, *Sensors* 2020, vol. 20, April, 2020.
- [5] J. Xu, K. Ota, M. Dong, „Real-Time Awareness Scheduling for Multimedia Big Data Oriented In-Memory Computing“, *Internet of Things Journal*, vol. 20, no. 20, 2018.
- [6] D.A. Trujillo-Toledo, et al, „Real-time RGB image encryption for IoT applications using enhanced sequences from chaotic maps“, *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 153, 2021.
- [7] A. Saha, et al, „Context-aware block-based motion estimation algorithm for multimedia internet of things (IoT) platform, *Springer*, July, 2017.

- [8] D. R. Kishore, et al, „Anomaly Detection in Real-Time Videos using Match Subspace System and Deep Belief Networks“, *Multimedia Computing Systems and Virtual Reality*, pp. 151-168, CRC Press, 2022.
- [9] Y. Cao, et al, „Video Processing on the Edge for Multimedia IoT Systems“, *arXiv*, May, 2018.
- [10] A. A. Khan, et al, „Innovation in Multimedia Using IoT Systems“, *Multimedia Computing Systems and Virtual Reality*, pp. 171-183, CRC Press, 2022.
- [11] A. I. Taloba, et al, „A blockchain-based hybrid platform for multimedia data processing in IoT-Healthcare“, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 65, pp. 263-274, September, 2022.
- [12] G. Rathee, et al, „A hybrid framework for multimedia data processing in IoT-healthcare using blockchain technology“, *Multimedia Tools and Applications*, June, 2019.
- [13] A. Darwish, et al, „The impact of the hybrid platform of internet of things and cloud computing on healthcare systems: opportunities, challenges and open problems“, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, December, 2017.

Abstract: *The development of IoT systems leads to an increase in data generation. In addition to the text data type, the transmission of image, sound and video occurs, i.e. multimedia data. Multimedia data affects the increase in load on the IoT system, memory capacity, complexity of operations, energy resources, speed of execution of commands, etc. Multimedia (positively) influences and promotes the emergence of new types of applications. This is how the need for real-time multimedia processing occurs. The aim of this paper is to present and describe multimedia processing techniques in real time, with an indication of current challenges in various fields of IoT technology application.*

Keywords: *IoT, IoMT, MIoT, multimedia signal processing, real-time multimedia processing*

TECHNIQUES FOR REAL-TIME MULTIMEDIA PROCESSING IN IoT SYSTEMS

Ana Gavrovska, Aleksandar Luković