

Primena IoT tehnologija u stomatologiji

Dragan Mandić, Prof. Dr. Mirjana Radivojević

Sadržaj — Tema ovog rada je istraživanje primene, prednosti i izazova vezanih za korišćenje tehnologije Interneta stvari (*Internet of Things-IoT*) u stomatologiji i u skladu sa tim u radu su predstavljene analizirane različite tehnologije Interneta stvari koje se trenutno koriste na ovom polju. U radu su detaljno predstavljena hardverska i softverska rešenja koja se koriste u IoT stomatoloskim uređajima, kao i načini komunikacije i protokoli koje koriste IoT uređaji u stomatologiji. Pored toga, data je analiza različitih algoritama za mašinsko učenje koji se trenutno implementiraju, kao i komparativno poređenje pomenutih algoritama.

Ključne reči — IoT, IoT hardver, IoT softver, IoT u stomatologiji, Mašinsko učenje, Pametne četkice

I. UVOD

Cilj ovog rada je detaljna analiza hardvera, softvera i algoritama koje IoT tehnologije koriste u stomatologiji. U radu je data komparativna i statistička analiza za svaku od tehnologija.

U doba digitalne transformacije, Internet stvari (*IoT- Internet of Things*) se pojavio kao monumentalni tehnološki talas, koji je preoblikovao različite industrije, od proizvodnje i poljoprivrede do zdravstvene zaštite. Kombinujući sposobnost ugrađenih senzora, sveprisutnu povezanost i napredne računarske modele, *IoT* nudi mogućnosti bez presedana za prikupljanje podataka u realnom vremenu, analizu i uvide koji se mogu primeniti. Među sektorima koji će značajno dobiti od *IoT* revolucije je i oblast stomatologije.

Stomatologija, koja se tradicionalno posmatra kao praktična klinička disciplina, progresivno je prihvatila tehnologiju tokom godina. Od usvajanja

Dragan Mandić, Računarski fakultet, Srbija (email: dmandic1620m@raf.rs)

Prof. Dr. Mirjana Radivojević, Računarski fakultet, Srbija (email: mradivojevic@raf.rs)

digitalnih rendgenskih snimaka do kompjuterski potpomognutog dizajna i proizvodnje (*CAD/CAM*) za zubne nadoknade, skok je bio značajan. Ipak, pojava *IoT* i njegova sinergija sa drugim tehnologijama, kao što su mašinsko učenje i proširena stvarnost, predstavlja promenu paradigme, obećavajući ne samo poboljšane kliničke rezultate već i pionirske pristupe-

Konvergencija stomatologije i *IoT*, iako uzbudljiva, zahteva pažljivo istraživanje, posebno iz perspektive softverskog inženjeringa. Otkrivanje tehnologija, protokola i algoritama koji podstiču ove aplikacije je ključno za njihovu održivu i efikasnu integraciju u stomatološke ordinacije [1].

Kroz pažljiv pregled literature, ispitivanje postojećih tehnologija na tržištu i diskusije sa stručnjacima iz industrije, ovaj rad nastoji da izgradi sveobuhvatan pregled *IoT* pejzaža u stomatologiji, sa naglaskom na tehničkim problemima i rešenjima, dizajnu sistema i računarskim modelima i algoritmima koji podržavaju ove aplikacije.

II. KOMPONENTE INTERNETA STVARI U STOMATOLOGIJI

IoT ekosistem u stomatologiji se sastoji od niza međusobno povezanih komponenti, od kojih svaka služi specifičnoj svrsi u poboljšanju oralne zdravstvene zaštite. Ključne komponente uključuju:

IoT uređaji - Ovo su osnovne komponente koje hvataju, mere i prenose podatke koji se odnose na parametre oralnog zdravlja. *IoT* uređaji u stomatologiji obuhvataju širok spektar uređaja, kao što su intraoralne kamere, pametne četkice za zube, nosivi zdravstveni monitori i zubni implantati sa ugrađenim senzorima.

Protokoli za povezivanje: *IoT* uređaji u stomatologiji koriste različite protokole povezivanja za komunikaciju jedni sa drugima i sa centralizovanim sistemima. Uobičajeni protokoli uključuju *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-Wave*, *LoRaWAN* i celularne tehnologije, od kojih je svaki prilagođen specifičnim slučajevima korišćenja na osnovu faktora kao što su domet, brzina prenosa podataka, potrošnja energije i okruženje za primenu[2].

Platforme za agregaciju podataka i analitiku: Podaci koje generišu *IoT* uređaji se agregiraju, obrađuju i analiziraju pomoću platformi zasnovanih na oblaku ili rubnih računarskih čvorova. Algoritmi za analizu podataka, uključujući mašinsko učenje i veštačku inteligenciju, izvlače značajne uvide iz prikupljenih podataka, podržavajući dijagnostiku, planiranje lečenja i personalizovanu negu.

Integracija elektronskih zdravstvenih kartona (*EHR*): Podaci prikupljeni sa *IoT* uređaja se često integrišu u sisteme elektronskih zdravstvenih kartona (*EHR*), pružajući sveobuhvatan pregled ukupnog zdravlja pacijenta.

Besprekorna integracija sa *EHR*-om poboljšava upravljanje podacima, omogućava donošenje odluka na osnovu podataka i podstiče saradnju među zdravstvenim radnicima.

Mere bezbednosti i privatnosti: S obzirom na osetljivu prirodu zdravstvenih podataka pacijenata, robusne mere bezbednosti su najvažnije u IoT stomatologiji. Šifrovanje, bezbedna autentifikacija i kontrole pristupa štite informacije o pacijentu tokom prenosa i skladištenja podataka, obezbeđujući usklađenost sa propisima o zdravstvenim podacima, kao što je *HIPAA* (Zakon o prenosivosti i odgovornosti zdravstvenog osiguranja).

III. ANALIZA IOT TEHNOLOGIJA U STOMATOLOGIJI

A. Protokoli

Izbor pravog komunikacionog protokola može uticati na potrošnju energije, brzinu prenosa podataka i međusobnu povezanost uređaja[2].

Protokoli koji se najčešće koriste su:

- Bluetooth niske energije (*Bluetooth Low Energy-BLE*): Energetski izuzetno efikasnost i pogodan za nosive uređaje. Glavno ograničenje mu je domet, kao i potencijalni problemi sa smetnjama. Najviše se koristi kod nosivih uređaja za praćenje zdravlja zuba i pametnih četkica za zube.
- *Wi-Fi*: Može da podrži visok protok podataka i široko je prihvaćen u kliničkim okruženjima. Problem mu je što, za razliku od *BLE*, troši mnogo više energije, kao i to što je otvoren potencijalnim bezbednosnim ranjivosti. Najviše se koristi kod digitalnih uređaja za otiske koji prenose skenirane slike visoke rezolucije u skladište u oblaku.
- *NFC (Near Field Communication)*: Besprekorno uparivanje i izuzetno mala snaga su potrebni za njega. Glavni problem mu je što zahteva veoma blisku blizinu kako bi mogao da radi. Najčešće se koristi prilikom identifikacije pacijenata i preuzimanja podataka u stomatološkim klinikama.

Nedavne studije ukazuju na sve veći pomak ka *BLE* zbog razmatranja energetske efikasnosti. *Wi-Fi* ostaje dominantan tamo gde je protok podataka najvažniji, posebno u stacionarnim podešavanjima. Usvajanje *NFC* je trenutno ograničeno, ali obećava u aplikacijama usmerenim na pacijente. Po istraživanju koje je odrađeno 2022. godine, *BLE* dominira sa 65% upotrebe, *Wi-Fi* je iza njega sa 25%, *NFC* sa 7%, a ostali protokoli čine 3% upotrebe.

B. *Senzori*

Senzori pretvaraju fiziološke ili ekološke fenomene u merljive podatke. Njihov izbor direktno utiče na tačnost podataka i korisnost uređaja [3].

Teško je reći koji se senzori najviše koriste, iz razloga što drugačije funkcionalnosti zahtevaju drugacije senzore. Ipak, postoje neki senzori koji su zajednički za veliki broj *IoT* uređaja koji se koriste u stomatologiji. To su:

- Akcelerometar - služi za detekciju pokreta. Podatci koje on šalje se obično koriste kako bi se detektovalo kako se uređaj kretao u prostoru. Njegovi podatci, kao i frekvencija tih podataka se koristi u *ML* algoritmima za analiziranje obrasca kretanja.
- Optički senzori: Od vitalnog značaja za digitalno skeniranje i *AR* aplikacije. Podatci koje ovaj senzor prikupi se koriste u algoritmima za konverziju podataka koji transformišu optičke podatke u *3D* modele ili *AR* slojeve.

C. *Algoritmi*

Stomatološki *IoT* domen svedoči o rastućoj preferenciji za duboko učenje (*Deep Learning* - *DL*), posebno sa povećanom upotrebom slika. Međutim, tradicionalni *ML* zadržava svoje uporište u zadacima koji se ne odnose na snimanje, često zbog lakoće interpretacije i smanjene potrebe za računarnom. Dok *DL* nudi performanse bez premca u složenim zadacima, on je računarski intenzivan, i potencijalno utiče na operacije u realnom vremenu na uređajima sa ograničenim resursima [4].

Mašinsko učenje (*Maschine Learning* - *ML*) služi kao osnova iza većine stomatoloških *IoT* aplikacija. On prevodi sirove, često haotične podatke sa senzora u smislene uvide koji mogu voditi kliničke odluke i predvideti buduće ishode.

Pre nego što bilo koji *ML* model može efikasno da funkcioniše, podaci moraju biti na odgovarajući način prikupljeni, očišćeni i transformisani. Smanjenje šuma, normalizacija i segmentacija uobičajeni su koraci pre obrade u stomatološkim aplikacijama, posebno sa podacima o slikama i vremenskim serijama.

U stomatološkim aplikacijama, inženjering karakteristika je od ključnog značaja za preciziranje najrelevantnijih atributa podataka. Na primer, u snimanju, specifični morfološki atributi zuba mogu poslužiti kao karakteristike. U podacima vremenske serije mogu se koristiti atributi kao što su frekvencija, amplituda ili spektralna gustina snage.

Algoritmi koji se najviše koriste su:

- Stabla odlučivanja: Deli podatke na različite nivoe, stvarajući stablo, za donošenje odluka. Najveću primenu ima u profilisanju rizika za pacijente zasnovanom na više parametara, od stomatološke istorije do podataka senzora.
- Podrške vektorske mašine (*SVM*): Pronalazi hiperravninu koja najbolje deli podatke u klase. Služi za klasifikacije kao što je razlikovanje zdravih zubnih tkiva i karijesa korišćenjem podataka senzora.
- *K*-najbliži susedi (*K-NN*): Klasifikuje podatke na osnovu '*k*' najbližih tačaka podataka. Koristi se za dijagnostikovanje stomatoloških oboljenja na osnovu klastera simptoma.

ML algoritmi imaju mnogo izazova koji moraju da se prebrode kako bi uspesno bili iskorišćeni. Najveći od njih je to što za uspešno treniranje *ML* modelaje potrebna velika količina hardverskih resursa, što može da bude izuzetno skupo. Pored toga, mnoga stomatološka stanja su retka, što dovodi do neuravnoteženih skupova podataka koji mogu da pristrasne modele.

Jedan od trendova koji počinje da ima izuzetno veliki značaj je kvantno računarstvo. Kvantno računarstvo, sa velikimračunarskim potencijalom, počinje da se ukršta sa mašinskim učenjem. Za zadatke poput optimizacije i pretraživanja velikih baza podataka (kao što su kartoni pacijenata ili genetski podaci), kvantni algoritmi mogu ponuditi značajno ubrzanje. U stomatološkom Internetu stvari, još uvek je u fazi istraživanja, ali potencijal za napredak u složenoj analizi podataka i prepoznavanju obrazaca je ogroman.

Mašinsko učenje, kao osnovna računarska komponenta u stomatološkom Internetu stvari, brzo napreduje, revolucionišući dijagnostiku, planiranje lečenja i praćenje pacijenata. Kako tehnologija napreduje i dalje se integriše sa kvantnim računarstvom i drugim novim tehnologijama, budućnost stomatološke nege izgleda izuzetno obećavajuća i veoma personalizovana.

Duboko učenje koristi neuronske mreže sa mnogo slojeva za analizu različitih oblika podataka. U stomatološkom Internetu stvari, njegova primarna moć leži u obradi ogromne količine nestrukturiranih podataka, posebno slika, kako bi se proizveli opipljivi klinički uvidi [5].

IoT u stomatologiji se u najvećem broju slučajeva oslanja na konvolucione neuronske mreže (*CNN*). Dizajniraju se da automatski i adaptivno uče prostorne hijerarhije iz podataka kroz konvolucione slojeve. Glavnu ulogu imaju u interpretaciji rendgenskih snimaka zuba i *3D* skeniranja, kao i u otkrivanju patologije.

S obzirom na intenzivne računarske zahteve za obuku modela dubokog učenja, transferno učenje se pokazalo kaonajpraktičnije. Ono uključuje korišćenje unapred obučениh modela (obučениh na velikim skupovima podataka) i njihovo fino podešavanje za specifične stomatološke primene. Glavna prednost transfernog učenja je što smanjuje vreme obuke i računarske resurse.

Postoji više izazova koje se otežavaju upotrebu *DL* algoritama:

- prekomerno prilagođavanje: *DL* modeli mogu postati previše specijalizovani za podatke o obuci i imati loš učinak na novim podacima.
- interpretabilnost: *DL* modeli, posebno složeni, mogu biti „crne kutije“, što otežava razumevanje njihovih odluka.
- potrebe za podacima: duboko učenje napreduje na velikim skupovima podataka, često zahtevajući hiljade do milione uzoraka za optimalne performanse.

Duboko učenje, sa svojim potencijalom da transformiše nestrukturirane podatke u duboke kliničke uvide, učvrstilo je svoje mesto u stomatološkom Internetu stvari. Kako se tehnologija i metodologije budu razvijale, stomatolozi opremljeni ovim alatima biće spremniji da ponude tačne, personalizovane i blagovremene intervencije, menjajući samu strukturu pružanja stomatološke zdravstvene nege.

D. Izazovi

Integracija *IoT* tehnologija u stomatologiji ima ogroman potencijal da revolucionariše oralnu zdravstvenu zaštitu, što rezultira boljim ishodima pacijenata, većom efikasnošću lečenja i povećanim angažovanjem pacijenata. Kontinuirano prikupljanje podataka i uvid u realnom vremenu koje pružaju *IoT* uređaji osnažuju stomatologe da identifikuju rane znake problema sa oralnim zdravljem, smanje rizik od komplikacija i optimizuju planove lečenja.

Međutim, usvajanje *IoT* u stomatologiji takođe predstavlja izazove, uključujući:

- Pitanje bezbednosti podataka i privatnost - Uz obimno prikupljanje i prenos podataka o pacijentima, obezbeđivanje bezbednosti i privatnosti podataka postaje kritična briga. Stomatološke ordinacije moraju primeniti snažne mere bezbednosti kako bi zaštitile informacije o pacijentima i bile u skladu sa propisima o zaštiti podataka.
- Interoperabilnost i standardizacija - Široka lepeza *IoT* uređaja i platformi koje se koriste u stomatologiji zahteva pažljivo razmatranje interoperabilnosti i standardizacije podataka. Uspostavljanje zajedničkih formata podataka i komunikacionih protokola je od

suštinskog značaja da bi se obezbedila besprekorna razmena podataka između različitih uređaja i sistema.

- Troškovi i infrastruktura - Početna investicija u IoT uređaje, platforme u oblaku i infrastrukturu za analizu podataka može predstavljati finansijske izazove za stomatološke ordinacije. Međutim, potencijalne dugoročne koristi u smislu poboljšane nege pacijenata i efikasnosti prakse mogu nadmašiti početne troškove.
- Obuka i prilagođavanje - Uspešna integracija IoT tehnologija u stomatologiji zahteva odgovarajuću obuku i prilagođavanje stomatoloških stručnjaka. Stomatolozi i stomatolosko osoblje moraju biti vešti u korišćenju IoT uređaja, tumačenju uvida u analitiku podataka i ugrađivanju podataka generisanih Internetom stvari u svoje prakse lečenja.

IV. PAMETNA ORDINACIJA

Dizajniranje potpuno pametne stomatološke ordinacije uključuje integraciju tehnologije na više slojeva za poboljšanu efikasnost, iskustvo pacijenata i poboljšane medicinske rezultate. Pametna ordinacija ima za cilj da bude uskladi rad međusobno povezanih sistema i uređaja koji rade koherentno kako bi pružili besprekornu uslugu. U ovom poglavlju je opisana infrastruktura i mreža koju jedna pametna ordinacija treba da poseduje, skup pametnih uređaja koji se u njoj nalaze, softver koji ta ordinacija koristi, kao i detaljan opis upotrebe *AWS* kao rešenje za računarstvo u oblaku za pametne stomatološke ordinacije.

Osnova same infrastrukture i mreže u pametnoj ordinaciji je povezanost sa internetom. Potrebna brzina interneta se mora proceniti na osnovu više faktora, uključujući broj uređaja povezanih na mrežu, obim i tip podataka koji se prenose i potrebe za razmenu podataka u realnom vremenu. Na primer, ako ordinacija koristi napredne tehnologije za snimanje slika koje stvaraju velike datoteke, ili ako su video konferencije rutinski deo konsultacija pacijenata, značajna propusnost je neophodna da bi se obezbedio nesmetani rad.

Stomatološka ordinacija ne može sebi priuštiti prekid mreže, jer može poremetiti ne samo zakazane termine, već i kritične interne procese kao što je pristup elektronskim zdravstvenim kartonima ili dijagnostičkim alatima. Iz tog razloga je preporučljiva dvostruka ili čak trostruka internetska veza od različitih provajdera. Svaka veza služi kao rezervna kopija kako bi se osiguralo da mreža uvek radi.

Topologija mreže je takođe sastavni deo ukupne efikasnosti i efektivnosti interneta praksi. Dok je *Wi-Fi* pogodan za mobilne uređaje i nudi veću fleksibilnost, žičana *Ethernet* veza mogla bi biti neophodna za stacionarnu

opremu koja zahteva veliku količinu podataka. Dobro osmišljena mešavina žičanih i bežičnih veza je često najbolji pristup. Na primer, dijagnostička oprema koja zahteva brz i masivan prenos podataka može imati koristi od stabilne, žičane veze, dok tablet i mobilni uređaji koje koristi osoblje može dobro opsluživati brza, bezbedna *Wi-Fi* mreža.

Kvalitet mrežnog hardvera, uključujući rutere i prekidače, može značajno uticati na stvarnu brzinu i pouzdanost internet veze. Potrebno je koristiti hardver koji može da se nosi sa složenošću i zahtevima zdravstvenog okruženja. Štaviše, ovi uređaji dolaze sa poboljšanim bezbednosnim funkcijama koje pružaju dodatni sloj zaštite.

Zatim postoji pitanje kašnjenja, koje bi moglo biti jednako važno kao i brzina. Latencija je kašnjenje u prenosu paketa podataka preko mreže. Mala latencija je od vitalnog značaja za aplikacije u realnom vremenu kao što su video konferencije i analitika u realnom vremenu, koje sve više postaju sastavni deo moderne stomatološke nege.

Bezbednost mreže je najbitnija stvar u arhitekturi pametne stomatološke ordinacije, posebno s obzirom na osetljivu prirodu podataka koji prolaze kroz mrežu. Osim poštovanja zdravstvenih propisa kao što je *HIPAA*, robusne mere bezbednosti mreže su od vitalnog značaja za zaštitu od nezakonite izmene podataka, neovlašćenog pristupa i drugih pretnji. Lokalna mreža pametne stomatološke ordinacije obično uključuje više slojeva bezbednosnih funkcija, od kojih svaka služi kao dodatna linija odbrane u sveobuhvatnoj bezbednosnoj strategiji.

Zaštitni zid (*Firewall*) služi kao prva linija odbrane, nadgledajući dolazni i odlazni saobraćaj na osnovu unapred određenih bezbednosnih pravila. Služi kao čuvar koji određuje koje vrste paketa podataka su dozvoljene ili blokirane. Pored hardverskog zaštitnog zida koji štiti mrežu na najvišem nivou, pojedinačne radne stanice i serveri unutar lokalne mreže mogu takođe biti opremljeni softverskim zaštitnim zidovima za dodatni sloj zaštite.

Drugi fundamentalni aspekt je segmentacija mreže. Kreiranjem virtuelnih lokalnih mreža (*VLAN*) ili fizički odvojenih mreža, osetljivi podaci se mogu izolovati od ostalog saobraćaja. Na primer, administrativne operacije kao što su fakturisanje i zakazivanje mogu da rade na drugom segmentu mreže od kliničkih aplikacija kao što su elektronski zdravstveni kartoni i dijagnostički sistemi za snimanje. Ovo osigurava da čak i ako napadač dobije pristup jednom segmentu, ostali segmenti ostaju zaštićeni.

Pored toga, potrebno je rešiti problem autentifikacije i kontrole pristupa, koje određuju ko ima pristup čemu u okviru mreže. Robustan sistem autentifikacije može uključivati višefaktorsku autentifikaciju (*MFA*), koja zahteva od

korisnika da potvrdi svoj identitet na više načina, kao što je nešto što znaju (lozinka) i nešto što poseduju (fizički bezbednosni token ili telefon). Kontrola pristupa zasnovana na ulogama može dodatno da poboljša ovo tako što će osoblju omogućiti pristup samo informacijama neophodnim za njihovu ulogu u organizaciji.

Secure Socket Layer (SSL) i Transport Layer Security (TLS) šifrovanje su standardni protokoli za bezbedan prenos podataka. Oni su posebno važni kada se podaci o pacijentima šalju preko mreže ili otpremaju u aplikacije u oblaku. Što se tiče bežičnih mreža, korišćenje jakih protokola za šifrovanje kao što je *WPA3*, redovno ažuriranje *SSID* i lozinke mreže i ažuriranje firmvera bežičnih rutera su najbolje prakse. S obzirom na sve veću upotrebu *IoT* uređaja u zdravstvu, obezbeđivanje da ovi uređaji ispunjavaju bezbednosne standarde i da su odvojeni na zasebnoj mreži je od suštinskog značaja za ublažavanje rizika.

Stalna obuka osoblja igra možda najveću ulogu u bezbednosti mreže. Osoblje mora biti svesno potencijalnih pretnji kao što su *phishing* i napadi društvenog inženjeringa, koji mogu poslužiti kao ulazne tačke za neovlašćeni pristup mreži.

Najkritičnijih deo hardvera u stomatološkoj ordinaciji bi bili kompjuterski sistemi koji sadrže elektronske zdravstvene kartone (*EHR*) i rukovode administrativnim zadacima kao što su zakazivanje termina i naplata. Ovi sistemi moraju biti dovoljno robusni da podrže više istovremenih korisnika i zadatke koji zahtevaju veliku količinu podataka. Procesori velike brzine, dovoljno *RAM* memorije i dovoljno prostora za skladištenje (koristi se *RAID*), su od suštinskog značaja.

Drugi najvažniji deo pametne ordinacije bi bio sistem pametnog grejanja, ventilacije i klimatizacije (*HVAC*). Oni poseduju sposobnost da optimizuju potrošnju energije. Koristeći senzore i algoritame za mašinsko učenje, ovi sistemi mogu predvideti optimalna podešavanja temperature na osnovu različitih parametara kao što su spoljašnji vremenski uslovi, nivoi popunjenosti, pa čak i doba dana. U stomatološkoj ordinaciji, gde su sterilizacija i čistoća izuzetno važni, *HVAC* sistemi mogu učiniti više od samo regulacije temperature. Oni takođe mogu da prate kvalitet vazduha, mereći parametre kao što su vlažnost, čestice i nivoi isparljivih organskih jedinjenja (*VOC*). U kontekstu stomatoloških tretmana koji uključuju aerosole (čestice nastale sagorevajući jednjenje na plamenu), sistem *HVAC* koji može efikasno filtrirati čestice je ključan.

Neki napredni sistemi mogu čak da podese stope ventilacije u realnom vremenu kako bi održali optimalan kvalitet vazduha u zatvorenom prostoru. Pametni *HVAC* sistemi se često mogu integrisati u sistem upravljanja zgradom

(*Building Management System-BMS*), omogućavajući koordinaciju sa drugim pametnim sistemima u stomatološkoj ordinaciji. Na primer, ako stomatološki laserski sistem sa *IoT* tehnologijom generiše mnogo toplote tokom rada, *HVAC* sistem se može automatski prilagoditi da kompenzuje, održavajući udobno radno okruženje.

Dijagnostička oprema kao što su digitalni rendgenski aparati i intraoralni skeneri čine još jednu kategoriju ključnog hardvera. Ovi uređaji prelaze sa samostalnih mašina na inteligentne, povezane sisteme koji mogu automatski da otpremaju dijagnostičke slike u skladište u oblaku ili direktno u *EHR* pacijenta. Najnovije verzije ovih hardverskih uređaja poseduju korisničke interfejsse i mogu se kontrolisati preko ekrana osetljivog na dodir ili čak daljinski putem aplikacija za pametne telefone.

U pametnoj stomatološkoj ordinaciji, čak i uređaji poput autoklava, koji se koriste za sterilizaciju stomatoloških instrumenata, postaju deo inteligentnog hardverskog ekosistema. Ovi napredni autoklavi se mogu programirati da pokreću cikluse sterilizacije u satima van radnog vremena ili u kasnim večernjim satima radi uštede energije i mogu da evidentiraju parametre svakog ciklusa radi automatskog izveštavanja o usklađenosti.

Pored toga, jedna od osnovnih radnji prilikom stomatološke procedure je davanje anestezije pacijentu. Davanje anestezije je delikatan zadatak koji zahteva preciznost da bi se pacijentu obezbedila udobnost i efikasna ukočenost (manji ili nepostojeći osećaj bola). Automatizovani uređaji za lokalnu anesteziju opremljeni *IoT* mogućnostima mogu da prate varijable kao što su brzina ubrizgavanja, pritisak i zapremina primenjene anestezije. Ovi podaci se mogu sačuvati za buduću referencu ili čak za trenutnu povratnu informaciju, što omogućava stomatologu da prilagodi proceduru u realnom vremenu po potrebi. Na primer, ako uređaj otkrije da pacijent doživljava nivo stresa koji je viši od prosečnog putem povezanih biometrijskih podataka, mogao bi automatski da prilagodi brzinu ubrizgavanja kako bi postupak bio udobniji. Pored toga, ako je stomatolog trenutno u akciji bušenja zuba, može da prilagodi brzinu busilice da bude sporijia ili da je čak zaustavi, ako za time ima potrebe.

U pametnoj stomatološkoj ordinaciji, softver predstavlja osnovu svega. Najvažniji softver koji se koristi u pametnim ordinacijama je *EHR*. *EHR* je mnogo više od samo digitalnih repozitorija informacija o pacijentima. Ove platforme služe kao centralna mesta oko kojih se vrti čitav niz aktivnosti nege pacijenata. Oni nude funkcionalnosti koje se duboko integrišu u tok posla, uključujući, ali ne ograničavajući se na planiranje lečenja, dijagnostičku podršku, pa čak i donošenje kliničkih odluka u realnom vremenu. Glavna karakteristika modernih *EHR* sistema je njihova njihova sposobnost da efikasno komuniciraju sa drugim zdravstvenim sistemima. Ova karakteristika

je ključna u multidisciplinarnoj oblasti kao što je stomatologija, gde oralno *zdravlje* pacijenta može imati implikacije na njihovo opšte zdravlje. *EHR* sistemi često uključuju algoritme mašinskog učenja koji nude naprednu analitiku i podršku za kliničko odlučivanje.

Ovi alati mogu proceniti mnoštvo varijabli u realnom vremenu kako bi preporučili najefikasnije planove lečenja, označili potencijalne komplikacije, pa čak i predvideli ishode pacijenata. Štaviše, oni mogu da generišu upozorenja o potencijalnim interakcijama lekova, smanjujući verovatnoću neželjenih događaja. Radiološke slike kao što su rendgenski snimci, *CT* skenovi i nalazi *MRI* mogu se integrisati u *EHR*. Ovo pruža centralizovanu bazu podataka za upućivanje, pojednostavljajući i dijagnozu i planiranje lečenja.

Pored *EHR*, softver za upravljanje radom (*PMS*) služi kao operativna osnova pametne stomatološke ordinacije, orkestrirajući administrativnim i kliničkim aktivnostima. Moderni *PMS* sistem uključuje mnogo korisnih funkcionalnosti, poboljšanih mašinskim učenjem i analitikom podataka, kako bi se pojednostavile administrativne radnje, poboljšalo iskustvo pacijenata, pa čak i doprinelo boljim kliničkim ishodima. Algoritmi koje *PMS* sistem koristi optimizuju dodelu termina, uzimajući u obzir faktore kao što su dostupnost opreme, opterećenje osoblja i preferencije pacijenata. Funkcije kao što su automatizovani podsetnici za zakazane sastanke i funkcije potvrđivanja smanjuju nedolazak i otkazivanje u poslednjem trenutku, čime se maksimizira efikasnost ordinacije. U ovaj sistem su takodje integrisane finansijske transakcije. Automatizovani sistemi naplate mogu da šalju fakture odmah nakon tretmana, da prihvataju onlajn plaćanja, pa čak i da obrađuju zahteve za osiguranje elektronskim putem. Pored toga, *PMS* sistem može da prati inventar stomatoloških potrepština, lekova i opreme, pokrećući automatska upozorenja o ponovnom naručivanju kada zalihe dostignu unapred određene minimalne nivoe. Ovo osigurava da ordinacija nikada ne ostane bez osnovnih stavki i pomaže u planiranju budžeta.

Skladištenje i računarstvo u oblaku predstavljaju mnogo više od skladištenja podataka van lokacije ili skalabilnog izvora računarske snage. Implikacije tehnologije oblaka ulaze duboko u različite aspekte stomatološke prakse, utičući i na pružanje kliničkih usluga i na efikasnost administrativnih operacija.

Čuvanje elektronskih zdravstvenih zapisa (*EHR*), planova lečenja pacijenata i dijagnostičkih slika u bezbednom okruženju u oblaku podiže pojam pristupačnosti i preuzimanja podataka u realnom vremenu. Stomatolozi i osoblje više nisu vezani za fizičku lokaciju za pristup kritičnim informacijama. Sa odgovarajućim protokolima za autentifikaciju, ovlašćeno osoblje može bezbedno da pristupi evidenciji pacijenata sa bilo kog mesta, bilo da je to u ordinaciji ili sa udaljene lokacije. Ovaj pristup obogaćuje kliničke odluke, jer

omogućava sveobuhvatniji pregled istorije pacijenata i trenutnih stanja. Pored oblasti nege pacijenata, skladištenje u oblaku takođe jača stomatološku ordinaciju protiv fizičkih ranjivosti kao što su kvarovi na hardveru, krađe ili prirodne katastrofe. Kada govorimo o okruženju u oblaku usklađenom sa *HIPAA*, mislimo na ekosistem koji sadrži robusne algoritme za šifrovanje, višefaktorsku autentifikaciju i redovne bezbednosne revizije. To je dinamičan prostor u kome se podaci ne samo čuvaju, već i upravljaju. Na primer, kontrola verzija može da prati promene u kartonima pacijenata, pružajući detaljnu istoriju i odgovornost za napravljene izmene.

Što se tiče računarstva u oblaku, ono igra izuzetno bitnu ulogu u pametnoj ordinaciji. Na primer, recimo da postoji potreba za 3D modeliranjem na osnovu dijagnostičkog snimanja pacijenta. Ovaj zadatak zahteva nivo računarske snage koji može biti težak za lokalne servere, posebno u manjim organizacijama. Računarstvo u oblaku omogućava stomatološkoj ordinaciji da ovaj intenzivan računarski rad prebaci na moćnije, udaljene servere. Ovi serveri u oblaku takođe mogu da izvršavaju algoritme mašinskog učenja koji pomažu u prediktivnoj dijagnostici, analizirajući velike skupove podataka o pacijentima kako bi identifikovali obrasce i trendove koji kliničarima možda nisu odmah očigledni. S obzirom da je stomatološka ordinacija skup različitih uređaja koji generišu različite vrste podataka, centralizovana platforma za analitiku u oblaku može da ponudi neprocenjive uvide. Takva analitika bi mogla da se kreće od upravljanja protokom pacijenata do trendova korišćenja inventara, pružajući uvide koji mogu da poboljšaju operativnu efikasnost.

Integrisanje tehnologije oblaka nije bez svojih problema. Kašnjenje mreže, brzine prenosa podataka i potencijalni zastoji usluga su problemi koji zahtevaju planiranje i strategije ublažavanja. Usklađenost sa zdravstvenim propisima ne samo za podatke u mirovanju, već i za podatke u tranzitu, zahteva rigoroznu proveru bezbednosnih protokola izabranog dobavljača usluga u oblaku.

U dizajnu pametne stomatološke ordinacije koja koristi mogućnosti mašinskog učenja, dobro postavljena infrastruktura koja podržava ove napredne tehnologije je ključna. Infrastruktura javnog oblaka (*public cloud*) je često najskalabilnije i najisplativije rešenje za implementaciju mašinskog učenja i drugih naprednih analitičkih alata. *AWS* je najčešće izabran zbog svog širokog spektra usluga, skalabilnosti i usklađenosti sa standardima zdravstvenih podataka kao što je *HIPAA* [9].

Amazon S3, ili *Simple Storage Service*, je glavno rešenje za skladištenje pri bezbednom čuvanju različitih vrsta podataka, od medicinskih kartona pacijenata do rendgenskih snimaka i administrativnih datoteka. Ovo skladište omogućava verzionisanje podataka, obezbeđujući da se istorijske verzije

važnih datoteka mogu preuzeti kada je to potrebno. Ovo je posebno značajno u zdravstvu, gde je održavanje pouzdane istorije pacijenata ključno.

Amazon EC2, poznat kao *Elastic Compute Cloud*, pruža skalabilne računarske resurse u oblaku. Ovde se nalaze algoritmi mašinskog učenja za dijagnostiku i planiranje lečenja. *Amazon EC2* nudi niz računarskih konfiguracija, omogućavajući stomatološkoj ordinaciji da prilagodi računarsku snagu specifičnim zahtevima svojih algoritama za mašinsko učenje.

AWS Lambda funkcije omogućavaju izvršavanje koda kao odgovor na specifične događaje, nudeći analitičke mogućnosti u realnom vremenu. Na primer, kada se rendgenski snimak zuba učita u sistem, *Lambda* funkcija može trenutno da pokrene model mašinskog učenja da izvrši neposrednu analizu u dijagnostičke svrhe.

Amazon RDS, ili *Relational Database Service* (u pozadini se nalazi *PostgreSQL*), je izabran za smeštaj strukturiranih podataka, kao što su podaci o pacijentima i informacije o naplati. Usluga je u skladu sa zdravstvenim propisima kao što je *HIPAA* i nudi funkcije poput automatskog pravljenja rezervnih kopija, snimaka baze podataka i automatizovanih ažuriranja, obezbeđujući bezbedno i pouzdano rešenje baze podataka.

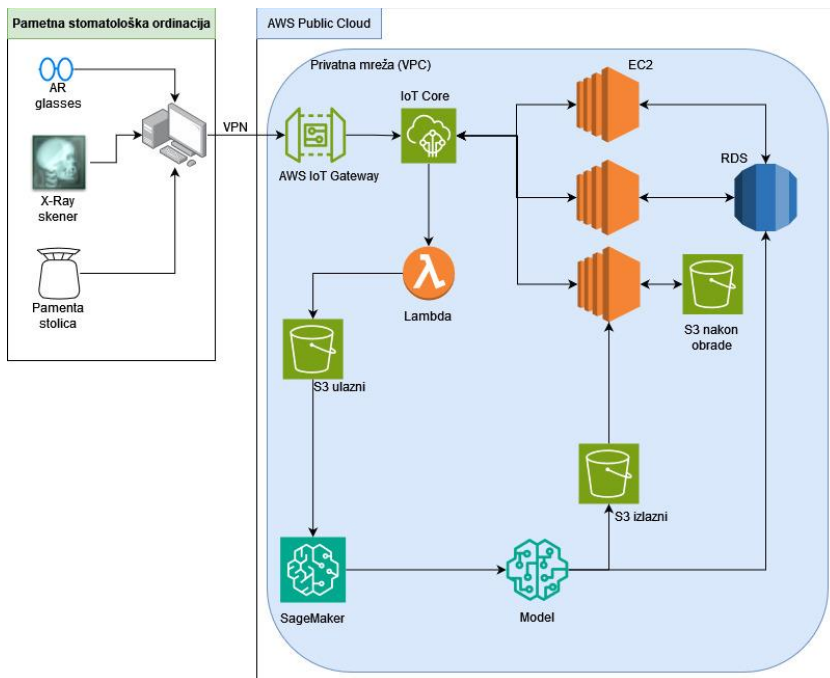
AWS IoT Core nudi bezbedno i efikasno upravljanje *IoT* uređajima koji su deo ekosistema stomatološke ordinacije. Ovo uključuje sve, od povezane stomatološke opreme kao što su bušilice ili oralne kamere do pametnih *HVAC* sistema. Podaci sa ovih *IoT* uređaja mogu se slati modelima mašinskog učenja koji rade na *Amazon EC2* radi analitike i uvida u realnom vremenu.

AWS IoT Gateway sliži kao veza između uređaja u stomatološkoj ordinaciji i *AWS* servisa. Njegova uloga je da ograniči pristup privatnoj mreži koja se nalazi na *AWS*. Svi podaci koji do njega stignu se sifruju, nakon čega se propustaju dalje u mrežu. *AWS IoT Gateway* takođe optimizuje propusni opseg filtriranjem irelevantnih podataka i obavljanjem analize podataka pre nego što ih pošalje u oblak.

Na kraju, *Amazon SageMaker* pruža sveobuhvatnu platformu za izgradnju, obuku i primenu modela mašinskog učenja. Ovo omogućava razvoj prilagođenih rešenja usmerenih na jedinstvene zahteve, kao što je prepoznavanje specijalizovanih slika za zubne rendgenske snimke ili prediktivna analitika za alokaciju resursa.

Svaka od ovih komponenti oblaka, od *Amazon S3* skladišta do *SageMaker* mogućnosti mašinskog učenja, dizajnirana je da radi zajedno. Ukupna arhitektura ne samo da olakšava trenutne funkcionalnosti, već nudi i prostor za inovacije i skaliranje.

Na slici 1. je dat prikaz kako bi izgledalo korišćenje AWS usluga u pametnoj stomatološkoj ordinaciji. Glavni server koji se nalazu u ordinaciji bi bio povezan sa *AWS IoT Gateway* (koristeći *VPN*). Podatci koje taj server pošalje bi se slali *IoT Core* kako bi se njima moglo upravljati na inteligentan način. Ako je potrebna analiza rengenske slike na primer, slika se skladišti na *S3*. Nakon toga se poziva *Lambda* funkcija koja kontroliše rad *SageMaker* i na kraju kreira izlazne podatke koji su potrebni (izmenjena slika, podatak da li postoji neka pukotina na zubu, itd.). U zavisnosti šta je izlazni podatak, on se čuva ili u *S3* (npr. izmenjena slika) ili u *RDS* (statistički podatak ili model). Bitno je da se radi česta sinhronizacija servera u ordinaciji sa izlaznim podacima, kako bi ordinacija bila što ažurnija. Ako na primer treba da se proceni da li je pacijentu udobno, umesto da se zahtev šalje na *SageMaker*, šalje sa na *EC2* instance koje u sebi imaju već prethodno iztrenirane modele i koji mogu da povuku podatke iz *RDS* radi poređenja. Dobijeni rezultat se šalje nazad u stomatološku ordinaciju, a pametna stolica u odnosu na dobijeni rezultat izvršava određenu promenu, (ako za time ima potrebe).



Slika 1. Primer upotrebe AWS servisa u pametnoj stomatološkoj ordinaciji

V. ZAKLJUČAK

U domenu digitalne zdravstvene zaštite, integracija *IoT* tehnologije i mašinskog učenja u stomatologiju nudi ogroman potencijal, unapređujući iskustvo pacijenata, poboljšavajući operativnu efikasnost i otkrića u dijagnostičkim metodama i metodama lečenja.

U ovom radu je analizirana primena *IoT* tehnologija u stomatologiji. Data je sveobuhvatna analiza *IoT* tehnologija koje se koriste u stomatologiji, primeri gde su *IoT* tehnologije uspešno implementirane, kao i pametna ordinacija koja čini spoj svih tih tehnologija.

IoT tehnologija, iako se koristi kratak vremenski period u stomatologiji, donela je ogroman napredak u tehnologiji koju stomatolozi koriste. Kako *IoT* tehnologije počnu da imaju sve veću primenu u stomatologiji, rad stomatologa koji može da bude izuzetno stresan će postati dosta lakši i precizniji. *IoT* tehnologije će smanjiti mogućnost greške, omogućavajući da pacijenti koji posete stomatologa imaju više poverenja i sigurnosti u njegov rad, smanjujući strah koji ljudi obično osećaju pred posetu stomatološkoj ordinaciji.

LITERATURA

- [1] Pramanik R., Ray. S., Saha M., godina 2020., "Internet of Things (IoT) in Dentistry: A Comprehensive Review"
- [2] K. Adatia, N. Bayley, N. Bhandari, godina 2022 "An evaluation of the communication protocols in Internet of Things technology for the telemedicine and tele-dentistry fields".
- [3] Montes L., godina 2023., "Sensors in Modern Dentistry: An Evolution"
- [4] Reyes, M., godina 2022., "Machine Learning in Medical Imaging"
- [5] Dawson, E., godina 2023., "Challenges and Solutions in Dental Deep Learning"
- [6] ScienceSoft sajt za statistiku – HIPAA sertifikovani public cloud provajderi, <https://www.scnsoft.com/healthcare/hipaa-compliant-clouds>

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) is a network of devices (called "things"), which contain sensors, software and other technologies that are connected to internet network for data exchange and interaction with other devices I to people (referred to as "users"). The term "things" includes multitudes of possible devices, such as smart home sensors and lighting, devices for health status monitoring, security system components and many others, where all devices are connected to the Internet. From smart city to

smart light, Internet of Things technology has become a part of everyday life and today it is no longer associated only with the field of entertainment and leisure, but is found application in many industries, primarily in the field of medicine and dentistry. Namely, in recent years, a number of solutions for improvement have been developed diagnostics, improving options for monitoring and patient care in these fields so that today new scientific fields are also defined: Internet of Things in Medicine (IoMT- Internet of Medical Things), as well as the Internet of Things in Dentistry (IoDT- Internet of Dental Things).

This master's thesis explores the applications, benefits and challenges associated with use technologies of the Internet of things in dentistry and accordingly are in the work presented and analyzed in detail different technologies of the Internet of Things which are currently used in this field. The paper presents in detail the hardware and software solutions that used in IoT dental devices, as well as communication methods and protocols used by IoT devices in dentistry. In addition, an analysis of various of machine learning algorithms currently being implemented, as well as opportunities for their further development. The paper also provides a comparative comparison of the mentioned algorithms for machine learning, as well as their analysis accuracy during implementation in practice.

Application of IOT technologies in dentistry

Dragan Mandić, Prof. Dr. Mirjana Radivojević