

**MONITORING DOBARA MATERIJALNE KULTURNE BAŠTINE
PRIMENOM INTERNETA INTELIGENTNIH UREĐAJA
MONITORING OF MATERIAL CULTURAL HERITAGE GOODS
BY USE OF INTERNET OF THINGS**

Tijana Matejić, Nemanja Marković, dr Đorđe Mihailović
Visoka tehnološka škola strukovnih studija, Arandelovac

REZIME: Savremene informaciono – komunikacione tehnologije, a posebno Internet inteligentnih uređaja omogućavaju da materijalna kulturna baština odoli izazovima sa kojima se suočava usled uvećane industrijalizacije, nepovoljnih klimatskih faktora i masovnog turizma. U radu je predstavljen model skalabilne arhitekture sistema za monitoring dobara materijalne kulturne baštine koji koristi tehnologije Interneta inteligentnih uređaja i uključuje višeslojnu obradu podataka prikupljenih putem senzorskih komponenti sistema. Model je implementiran kroz “Intelligent Culture” sistem koji omogućava monitoring dobara baštine koja su locirana na teritoriji grada Arandelovca. Ovaj sistem omogućava praćenje u realnom vremenu materijalnih kulturnih dobara, identifikaciju događaja kada su dobra ugrožena, analizu prikupljenih podataka, izveštavanje i alarmiranje putem mobilne aplikacije i veb dashboard portala. Evaluacija odnosnog sistema je pokazala da su informacije koje obezbeđuje korisne pri planiranju preventivnih i zaštitnih mera, zaštiti dobara baštine i da sistem menja odnos koji administrativna lica imaju prema primeni informaciono - komunikacionih tehnologija u praćenju i zaštiti dobara baštine.

KLJUČNE REČI: Internet inteligentnih uređaja, senzori, Arduiono, kulturna baština, Cloud.

ABSTRACT: Modern information and communication technologies and especially Internet of things, enable material cultural heritage to resist the challenges it faces as a result of increased industrialization, unfavorable climatic factors and mass tourism. This paper presents a model of scalable architecture of the system for material cultural heritage property monitoring which utilizes the technologies of the Internet of things and includes multilayer data processing which has been collected through sensory components of the system. The model's been implemented through the “Intelligent Culture” system that enables monitoring of heritage assets located in the territory of Arandelovac. This system enables real-time monitoring of material cultural assets, identification of events when the assets are endangered, analysis of the collected data, reporting and alarms through the mobile application and the web dashboard portal. Evaluation of the system has shown that the information it provides is useful for preparing preventive and protective measures, protection of heritage assets and that the system changes the attitude that administrative entities have when it comes to applying information and communication technologies in monitoring and protecting heritage assets.

KEY WORDS: Internet of things, sensors, Arduino, cultural heritage, Cloud.

1. UVOD

Materijalna kulturna baština (sin. „opipljiva baština“), kao fizički izraz načina života razvijenih od strane zajednice [1] i zaveštanje fizičkih artefakata koje je nasleđeno iz ranijih generacija, održavano u sadašnjosti i namenjeno benefitima budućih generacija [2], proteklih decenija izložena je uvećanim rizicima usled uvećane industrijalizacije, ubrzane urbanizacije, sve izraženijeg prisustva atmosferskih zagađivača, drugih nepovoljnih klimatskih faktora i masovnog turizma. Usled toga, neophodno je zauzeti inovativan pristup pri zaštiti i očuvanju artefakata i drugih dobara sa kulturnim, istorijskim, naučnim i drugim oblicima vrednosti u čemu posebno značajnu ulogu imaju savremene informaciono-komunikacione tehnologije, posebno paradigma „Inteligentnog okruženja“ (eng. „Smart Environment“) i „Interneta inteligentnih uređaja“ (eng. „Internet of things“, IoT).

Potreba za zaštitom materijalne kulturne baštine u sve većoj meri postaje evidentna i privlači pažnju naučne, stručne i opšte zajednice. Sve veća pažnja počinje da se posvećuje istraživanjima načina degradacije dobara i pronalaženju načina za zaštitu materijalne kulturne baštine. Evropska Komisija

posebnu pažnju posvećuje ovom pitanju, promovišući akcije koje su usmerene na zaštitu dobara i diseminaciju znanja o baštini radi širenja svesti o potrebi njenog očuvanja.

Monitoring dobara baštine uključuje praćenje različitih parametara koji opisuju stanje dobara i faktore okruženja kojima su dobra baštine izložena. Kao cilj ima sticanje uvida u stanje dobara baštine i načine na koje se dobra baštine čuvaju i izlažu, obezbeđivanje potrebnih informacija za koncipiranje preventivnih i zaštitnih mera i identifikaciju događaja ugrožavanja dobara baštine, poželjno, u realnom vremenu. S obzirom da dobra materijalne kulturne baštine sačinjavaju artefakti od neprocenjive vrednosti, koji mogu poticati iz različitih epoha i biti degradiranog stanja, monitoring dobara baštine treba da pruži adekvatne performanse u praćenju dobara, objedinjujući različite faktore koji mogu uticati na stanje dobara i obezbeđujući blagovremeno izveštavanje o njihovim promenama u vremenu. Dakle, efektivan monitoring treba da obezbedi relativno precizne i učestale podatke o različitim faktorima kojima su dobra okružena kako bi se osigurao adekvatan stepen zaštite uz zadovoljenje zahteva da tehnologije koje se koriste za prikupljanje podataka o dobrima ne narušavaju estetske i fizičke karakteristike dobara ili prostora u kojima se dobra izlažu.

Mehanizmi za preventivnu konzervaciju dobara imaju za cilj da uspore proces propadanja objekta i obično uključuju dve komplementarne strategije: monitoring dobara i njihovu zaštitu od oštećenja koje nastaje pod uticajem različitih faktora okruženja. Imajući u vidu geografsku distribuiranost dobara i hronični nedostatak resursa i kadrova za kontinualno praćenje dobara, efektivan monitoring dobara baštine zahteva primenu sistema za kontinuirano i automatizovano praćenje faktora okruženja dobara poput senzora, sistema video nadzora, bežičnih senzorskih mreža (eng. Wireless Sensor Networks) i Interneta inteligentnih uređaja (eng. Internet of Things). Cilj ovakvih sistema je da se automatizuju poslovi vezani za praćenje dobara baštine i da se obezbedi kontinuitet u njihovom monitoringu. Dodatno, sistemi za monitoring dobara baštine koji se baziraju na tehnologijama za automatizovano prikupljanje podataka mogu poslužiti kao osnova za realizaciju sistema za automatizovano zaštitu, koji uključuju aktivne, aktuatorске komponente, čime se dodatno mogu umanjiti rizici kojima su dobara baštine izložena i umanjiti potreba za direktnim ljudskim intervencijama na održavanju dobara baštine.

Internet inteligentnih uređaja i bežične senzorske mreže omogućavaju relativno precizno i kontinualno merenje parametara okruženja u realnom vremenu. Prednosti bežičnih senzora su njihova sposobnost da kombinuju prikupljanje podataka, analizu podataka i kontrolu i da se neinvazivno mogu pozicionirati u blizini objekata materijalne kulturne baštine i pomerati u skladu sa potrebama. Bežični prenos podataka eliminiše potrebu za upotrebom kablova, dok mala veličina senzora omogućava da se oni postave u blizini objekata bez narušavanja estetskih karakteristika prostora u kojima se dobra izlažu. Komputacione sposobnosti omogućavaju povezivanje više senzora na iste radio predajnike, čime se mogu umanjiti ukupni troškovi implementacije sistema.

Paradigma "Interneta inteligentnih uređaja" omogućava tranziciju od zatvorenog sveta u kome su objekti karakterisani kroz deskriptore ka otvorenom svetu, kod kojeg su objekti u interakciji sa svojim okruženjem, pošto postaju "inteligentni" [3]. "Izraz Internet inteligentnih uređaja označava trend gde veliki broj ugrađenih uređaja koristi komunikacione servise koje nudi Internet Protokol. Sa mnogim od ovih uređaja, koji se često nazivaju – pametni objekti, direktno ne radi čovek, već postoje kao delovi u zgradama ili vozilima ili su rašireni u okruženju" [4]. "IoT predstavlja: dinamičku globalnu mrežnu infrastrukturu sa funkcionalnostima samo-konfigurisanja baziranu na standardima i interoperabilnim komunikacionim protokolima gde fizičke i virtuelne stvari imaju identitete, fizičke atribute i virtuelne osobine, koriste inteligentne interfejsе i integrisani su u informacionu mrežu" [5].

Pored tradicionalnog monitoringa uobičajenih faktora okruženja poput temperature, relativne vlažnosti, vazdušnog pritiska, poslednjih godina u sve većoj meri počinju da se razvijaju i koriste platforme koje obuhvataju dodatne senzore poput senzora koji mere buku, osvetljenje i kvalitet vazduha. Pojedini radovi pokušavaju da kvantifikuju uticaj promenljivih faktora okruženja na dobra kulturne baštine ([6], [7], [8], [9],

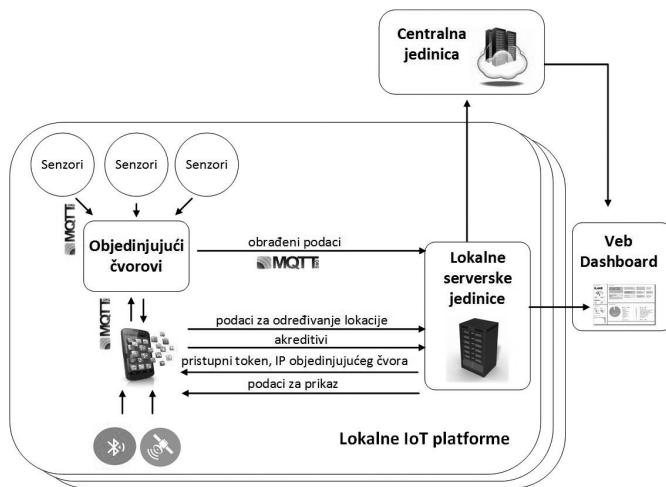
[10]). Pojedine platforme imaju zadatak da optimizuju uslove okruženja dobara baštine sa ciljem efikasnije zaštite dobara ([11], [12]). Komponente IoT sistema se mogu grupisati u sledeća tri sloja [13]: (1) Fizički sloj, (2) Sloj mrežnog prolaza, (3) Sloj upravljanja informacijama. Slično, Li et al [14] izdvajaju tri sloja u arhitekturi IoT sistema: 1) Percepcioni sloj, 2) Mrežni sloj i 3) Aplikacioni sloj.

Jedan deo radova bavi se mogućnostima implementacije IoT sistema pri praćenju i zaštiti dobara materijalne kulturne baštine. Cuspis i SmooHS su primeri implementacija pametnih sistema monitoringa u domenu kulturne baštine, koji implementiraju i mehanizme za prezentaciju sadržaja o dobrima kulturne baštine posetiocima lokacija baštine. Cuspis projekat ima tri polja primene: 1) zaštita dobara pri transportu, 2) korisnički servisi bazirani na geopoziciji korisnika, 3) geo-vremenska autorizacija dobara [15]. SmooHS [16] je projekat Evropske Komisije koji kao svoj cilj ima izgradnju pametnih monitoring sistema koji koriste bežične minijaturne senzore za praćenje parametara procesa uništavanja istorijskih građevinskih objekata i koji bi trebalo da pomogne u optimizaciji prezervacije kulturnog nasleđa. U [17] je predstavljen sistem za monitoring i konzervaciju kulturnih dobara koji koristi bežičnu mrežu senzora i obuhvata jedinstveni komunikacioni modul koji implementira udaljenu i lokalnu konektivnost, koordinaciju, skupljanje senzorskih informacija, monitoring, izdavanje turističkih informacija i sigurnost. U [18] je predstavljen model arhitekture pametnog okruženja kulturne baštine koji uključuje tri sloja: centralni server, mrežni prolaz i senzorsku komponentu. Model predviđa realizaciju različitih servisa poput: adaptacije sadržaja, lokacione isporuke sadržaja, davanja preporuka, izgradnje znanja u domenu kulturne baštine i praćenja parametara okruženja.

Dakle, najveći deo radova u ovim domenu fokusira se na određeno problemsko područje i ne objedinjuje raznovrsne senzorske podatke i njihovu višeslojnu obradu u okviru jedinstvenog sistema za monitoring dobara baštine. U radu je predstavljen fleksibilan i skalabilan sistem za monitoring dobara baštine koji se bazira na IoT pristupu, prikuplja raznovrsne senzorske podatke koji opisuju kontekst stanja i zaštite dobara materijalne baštine i omogućava njihovu višeslojnu obradu i generisanje prikaza rezultata obrade.

2. MODEL ARHITEKTURE SISTEMA ZA MONITORING DOBARA

Model arhitekture sistema za monitoring dobara predstavlja primer moguće implementacije sistema za monitoring dobara koji obuhvata proizvoljan broj lokalnih IoT platformi koje su zadužene za određeno prostorno područje poput gradova, delova gradova i centralnu serversku jedinicu koja se realizuje na Cloud infrastrukturi. Na ovaj način se obezbeđuje nelimitirano širenje platforme i njene skalabilnosti.



Slika 1. Model arhitekture sistema za monitoring materijalnih dobara kulturne baštine

Lokalne IoT platforme implementiraju senzorske mreže za prikupljanje podataka o dobrima baštine i mreže bikona, koja se koristi za lociranje pametnih telefona u zatvorenom prostoru. Senzorska mreža prikuplja različite vidove podataka poput podataka o ambijentalnim faktorima okruženja, koncentracijama atmosferskih zagađivača, lokaciji pokretnih objekata baštine i registrovanom zvuku.

Deo senzorske mreže su i pametni telefoni koji u sve većoj mjeri objedinjuju sve raznovrsnije i preciznije senzore za registraciju raznovrsnih parametara okruženja. Kako bi se informacije o senzorskim podacima koje obezbeđuju pametni telefoni učinile upotrebljivim, sistem implementira mehanizam za određivanje lokacije pametnih telefona koji se bazira na GPS servisu i sistemu bikona i povezuje prikupljene podatke sa lokacijama telefona. Sistem predviđa da se obrada i isporuka sadržaja vrše distribuirano na tri nivoa, u okviru objedinjujućih čvorova koji su u neposrednoj blizini senzorskih čvorova i pametnih telefona kojima isporučuju sadržaje, u okviru lokalnih serverskih jedinica koje su zadužene za lokalne IoT platforme i u okviru centralne Cloud jedinice sistema, koja objedinjeno analizira podatke većeg broja IoT platformi.

Senzorski čvorovi prikupljaju podatke o neposrednom okruženju dobara materijalne kulturne baštine i promenama lokacija dobara i ove podatke dostavljaju objedinjujućim čvorovima koji predstavljaju mini serverske aplikacije koje vrše agregaciju i obradu podataka. Senzorski čvorovi se implementiraju kao bežični uređaji, kako bi se u što je manje mogućoj mjeri narušila estetska svojstva prostora u kojima se dobra izlažu, te se prenos podataka vrši bežičnim putem koristeći Wi-Fi.

Model podrazumeva da se pri prenosu podataka koristi MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokol, jednostavan protokol za razmenu podataka po principu oglašivača/pretplatnika koji se koristi kod ograničenih uređaja ili nepouzdanih mreža i veoma je pogodan za primenu kod IoT implementacija. Osnovni cilj ovog protokola je da se minimizira mrežni saobraćaj, umanje zahtevi za resursima ograničenih uređaja i postigne pouzdanost u isporuci poruka. MQTT koristi šablon oglašivača/pretplatnika u razmeni poruka i protokol je sa veoma malim zaglavljem (2 bajta) koji je idealan

za male uređaje kao što je Arduino i za M2M (machine to machine komunikacije). MQTT protokol omogućava klijentskim čvorovima da pošalju poruku brokeru, koristeći naziv teme i da se pretplate na teme za koje su zainteresovani. Klijenti mogu biti raznovrsni uređaji poput mikrokontrolera, servera i aplikacija, koji imaju instaliranu biblioteku za MQTT, podršku za TCP/IP i povezani su MQTT brokerom putem bilo koje vrste mreže. Broker prihvata poruke klijenata i dostavlja ih svim ostalim klijentima koji su pretplaćeni na temu kojoj prihvata poruka (druge komponente sistema i aplikacije). Klijenti koji su objavljiivači poruka u okviru određenih tema mogu biti istovremeno i pretplatnici na druge teme. Implementacija MQTT protokola zahteva instalaciju adekvatnih klijent biblioteka u okviru senzorskih čvorova, mobilnih aplikacija na pametnim telefonima, lokalnih serverskih jedinica i instalaciju MQTT brokera u okviru objedinjujućih čvorova.

Objedinjujući čvorovi imaju ulogu da prikupe podatke koje obezbeđuju senzorski čvorovi i pametni telefoni, privremeno ih uskladište u okviru namenskih tema, filtriraju, izvedu jednostavne analize i isporučuju sadržaje koji su rezultat obrade podataka pametnim telefonima u čijoj se neposrednoj blizini nalaze, putem namenski razvijene mobilne aplikacije za prikupljanje senzorskih podataka i prikaz izveštaja monitoringa.

Obrada i analiza podataka koje prikupljaju senzori je netrivialan problem. Senzori generišu veliki obim multidimenzionalnih podataka, podaci mogu imati šum i može nedostajati značajan deo podataka. Pored toga, ovakve podatke je potrebno analizirati u kratkom vremenskom periodu i sami podaci mogu imati svoju prostornu i vremensku dimenziju. Pri analizi senzorskih podataka IoT sistemi mogu da implementiraju centralizovani ili distribuirani model. Kod centralizovanog modela senzori šalju podatke ka centralnom serveru koji spaja i pročišćava podatke i vrši njihovu analizu. Kod distribuiranog modela svaki senzor izvodi analizu pre nego što prosledi rezultate ka drugim delovima mreže. U oba slučaja, podaci senzora se skupljaju iz različitih izvora i potom kombinuju kako bi se dobili kompletniji i precizniji podaci. Uobičajen pristup za kombinovanje senzorskih podataka je Kalmanovo filtriranje [19] koje implementiraju objedinjujući čvorovi. Pri filtriranju podataka mogu se koristiti i drugi pristupi, poput probablističkog modelovanja senzora [20].

Objedinjujući čvorovi izvode jednostavne analize podataka poput njihove istorijske agregacije, obračuna osnovnih statističkih pokazatelja, identifikuju događaje kada je u prostoru oko dobra identifikovan dim, kada je identifikovano nedozvoljeno pomeranje objekata, prisustvo ljudi u prostoru oko dobara u nedozvoljeno vreme i isporučuju sadržaje koji su rezultat obrade podataka namenskoj korisničkoj mobilnoj aplikaciji. Decentralizacija obrade podataka i isporuke sadržaja, koja se realizuje upotrebom objedinjujućih čvorova obezbeđuje manje opterećenje lokalne serverske jedinice, veću pouzdanost sistema i uvećava skalabilnost sistema.

Autorizovana administrativna lica putem mobilne aplikacije mogu da se autorizuju za pomeranje dobara i da definišu termine u kojima je dozvoljeno prisustvo ljudi u prostoru oko objekta, o čemu evidenciju, takođe, vode objedinjujući čvo-

rovi. Objedinjujući čvorovi putem MQTT protokola obrađene podatke dostavljaju i lokalnoj serverskoj jedinici radi njihove agregatne obrade. Objedinjujući čvorovi implementiraju MQTT brokera, gde se senzorski čvorovi označavaju kao oglašivači, mobilne aplikacije kao oglašivači i pretplatnici i lokalne serverske jedinice kao pretplatnici na adekvatne teme.

Pametni telefoni su u predstavljenoj arhitekturi generatori senzorskih podataka i koriste mobilnu aplikaciju za prikupljanje senzorskih podataka i isporuku sadržaja vezanih za monitoring dobara. Senzorski podaci koje obezbeđuju pametni telefoni se vezuju za njihove lokacije, koje se određuju korišćenjem GPS sistema za otvoreni prostor i sistema bikona u zatvorenom prostoru. Mobilne aplikacije šalju podatke o registrovanoj longitudi i latitudi, kao i registrovanim bikon uređajima ka lokalnoj serverskoj jedinici, koja uzvraća porukom o IP adresi objedinjujućeg čvora sa kojim mobilna aplikacija treba da nastavi komunikaciju. Komunikacija između pametnih telefona i lokalne centralne jedinice se izvodi putem Internet veze. Lociranje se izvodi približno, na način da vodi ka određivanju objedinjujućeg čvora u čijoj se nadležnosti telefon nalazi i kontinualno, kako bi se identifikovale promene u nadležnim objedinjujućim čvorovima. Pametni telefoni omogućavaju administrativnim licima da se autorizuju za pomeranje dobara i definišu vremenske intervale u kojima je u prostoru oko dobra dozvoljeno prisustvo ljudi. Za poslove autorizacije je odgovorna lokalna serverska jedinica, koja na osnovu provere akreditiva korisnika generiše pristupne tokene, koje zatim mobilna aplikacija prosleđuje objedinjujućim čvorovima.

Lokalna serverska jedinica prikuplja podatke objedinjujućih čvorova i izvodi agregatne analize podataka. Vršiti isporuku rezultata obrade mobilnim aplikacijama i omogućava prikaze podataka u realnom vremenu putem Dashboard veb aplikacije. Lokalna serverska jedinica obezbeđuje podatke centralnoj Cloud jedinici putem Interneta, koja agregira podatke različitih IoT platformi i izvodi kompleksne statističke analize, čiji se rezultati prezentuju, takođe, putem Dashboard aplikacije. Centralna jedinica se realizuje u okviru javne ili privatne Cloud infrastrukture poput AWS infrastrukture, čime se ostvaruje zahtev za skalabilnošću sistema, pojednostavljaju poslovi na održavanju celokupnog sistema i ostvaruju uštede u potrebnim resursima.

3. SISTEM ZA MONITORING DOBARA MATERIJALNE KULTURNE BAŠTINE GRADA ARANĐELOVCA

Sistem za monitoring dobara kulturne baštine koji se predstavlja u ovom radu obezbeđuje blagovremeno izveštavanje o faktorima okruženja koji utiču na dobra baštine i implementira sistem za alarmiranje u realnom vremenu o događajima koji mogu voditi ka krađi, gubitku i/ili oštećenju dobara materijalne kulturne baštine. Sistem ("Intelligent Culture" sistem grada Aranđelovca) je implementiran tako da trenutno prati 53 dobra materijalne kulturne baštine koja su locirana na teritoriji grada Aranđelovca kako u otvorenom prostoru poput parka Bukovičke banje, tako i u zatvorenom prostoru poput Narodnog muzeja grada Aranđelovca

i predstavlja implementaciju jedne lokalne platforme predstavljene modelom arhitekture sistema za praćenje dobara.

Parametri od interesa koje sistem za monitoring prati tiču se pozicije dobara u prostoru, promena njihove lokacije, klimatskih faktora okruženja, registrovanog zvuka u prostoru oko dobara, koncentracije atmosferskih polutana i prisustva ljudi u okruženju dobara.

Sistem koristi Arduino [22] senzore, Arduino mikrokontrolerske ploče, serversku jedinicu i BLE HM10 čipove za ustanovljivanje lokacije pametnog telefona u zatvorenom prostoru. Lokacije pokretnih dobara prate se upotrebom senzora magnetnog polja koji ustanovljuje da li je objekat prisutan u prostoru i koristeći ultrasonični senzor koji meri udaljenost dobara u odnosu na originalno mesto postavljanja. Radi registracije jačine zvuka u prostoru koristi se KY-038 mikrofona, dok sistem istovremeno omogućava praćenje nivoa koncentracija CO, O₃, H₂S, atmosferskog pritiska, temperature i vlažnosti i koncentracija čestica prašine, upotrebom različitih senzora koji su navedeni u Tabeli 1. Kako bi se detektovalo prisustvo ljudi u prostoru koriste se PIR senzori, dok se radi registracije dima u prostoru oko dobara koristi Arduino MQ2 senzor.

Razlozi za odabir Arduino platforme pri implementaciji senzorske mreže leže u popularnosti i globalnoj rasprostranjenosti ove open-source platforme za kreiranje interaktivnih elektronskih objekata, njihovo povezivanje, mogućnostima za kombinovanje i jednostavno projektovanje i razvoj različitih rešenja, kao i niskoj ceni različitih komponenti, čime se zadovoljavaju zahtevi u pogledu univerzalnosti sistema koji se implementira.

Tabela 1: Senzori koje sistem koristi

Rb.	Senzor	Meri	Jedinica mere	Alarmantna vrednost
1	MQ-7	Koncentracije ugljen monoksida (CO)	PPM ¹	>10
2	MQ-136	Vodonik – sulfid (H ₂ S)	PPM	>500
3	MQ-131	Ozon (O ₃)	PPM	>10
4	MQ-2	Dim	Prisutno/nije	Registrovan dim
2	PIR	Pokreti u prostoriji	Ima/Nema pokreta	Prisustvo ljudi u prostoru u nedozvoljeno vreme
3	KY-003 Senzor magnetnog polja	U zavisnosti od objekta, pomeraj ili prisustvo objekta	Prisutno/nije	Nije prisutan objekat
4	Ultrasonic HC - SR04	Lokacija objekta u prostoru	Daljina u cm	Objekat je udaljen od mesta postavljanja
5	KY-038 Mikrofona	Zvuk u prostoriji	Jačina zvuka u dB	>50 dB
6	DHT-22	Temperatura i vlažnost	Stepeni celzijusa/%	-20C/35C : >85%

7	BMP180	Atmosferski pritisak	Milibara	>1100
8	GP2Y1010AU0F Senzor cestica	Čestice prašine	mg/m3	>100

¹ Jedinice za zagađenje vazduha su delovi na milion (part per billion - ppb) ili mikrogram po kubnom metru (µg/m3). Prvi pokazatelj pokazuje u kojoj meri je data zapremina vazduha ispunjena gasom. Tako 1 ppb pokazuje da je jedan molekul zagađivača prisutan na svakih milion molekula vazduha.

BLE HM10 su čipovi (bikoni) koji emituju BLE signale (Bluetooth Low Energy, Bluetooth 2.0) signale koje pak registruju pametni telefoni koji se nalaze u njihovoj neposrednoj blizini kako bi se ustanovila pozicija pametnih telefona u prostoru. Za lociranje u otvorenom prostoru koristi se GPS servis.

Senzori su povezani sa Arduino mikrokontrolerskim pločama (u implementaciji Arduino Uno) i opremljeni su ESP8266 Wi-Fi čipom koji ima ceo TCP/IP paket protokola i mikrokontrolersku jedinicu, čime se omogućava bežično povezivanje senzora sa ostatkom mreže i razmena MQTT poruka. Wi-Fi čip se programira tako da formatira podatke senzora u MQTT poruke i prosleđuje ih ka lokalnim objedinjujućim čvorovima, implementirajući namensku biblioteku.

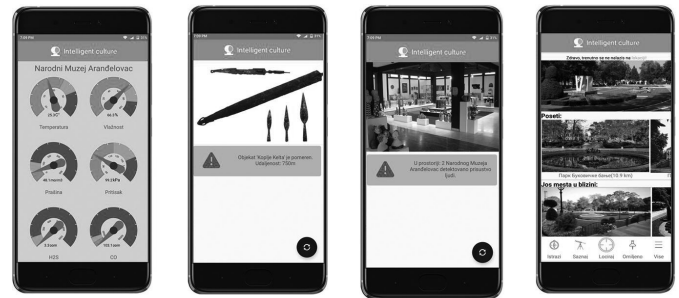
Objedinjujući čvorovi implementirani su pomoću Arduino mikrokontrolerskih ploča (Arduino Mega 2560), imaju ulogu da filtriraju i obrade prikupljene podatke, isporuče izveštaje i alarme ka aplikacijama za pametne telefone, rezultate obrade ka lokalnoj serverskoj jedinici i realizuju funkciju MQTT brokera. Radi realizacije MQTT prenosa u datoj implementaciji korišćen je Eclipse Mosquitto [23] broker za razmenu poruka otvorenog koda, koji implementira MQTT protokol i instalira se na objedinjujućim čvorovima. Objedinjujući čvorovi su opremljeni Ethernet Shield-om, koji omogućava prenos podataka ka lokalnoj serverskoj jedinici. Trenutno, sistem za monitoring dobara materijalne kulturne baštine grada Arandjelovca obuhvata šest objedinjujućih čvorova koji su postavljeni na različitim lokacijama, uključujući lokacije u otvorenom i zatvorenom prostoru.

Lokalna serverska jedinica ima ulogu da prikupi podatke od objedinjujućih čvorova u realnom vremenu, izvrši njihovu obradu i agregatnu analizu i obezbedi potrebne podatke Dashboard aplikaciji i mobilnim aplikacijama radi njihovog prikaza. Pritom, ova jedinica određuje lokaciju pametnih telefona radi određivanja nadležnog objedinjujućeg čvora za prikupljanje i prikaz lokalnih podataka. S obzirom da sistem trenutno obuhvata jednu lokalnu platformu za monitoring ne implementira centralnu Cloud jedinicu.

Sistem uključuje dve namenski razvijene korisničke aplikacije: Dashboard aplikaciju za monitoring parametara okruženja u realnom vremenu, kao i prikaz rezultata analize podataka i mobilnu Android aplikaciju za poziciono izveštavanje i lokaciono alarmiranje u realnom vremenu.

Mobilna aplikacija za izveštavanje administrativnih lica ima ulogu da administrativnim licima prezentuje podatke o ambijentalnim faktorima okruženja dobara baštine na lokacijama na kojima se nalaze i da im prezentuje alarme u momentu identifikacije događaja koji mogu ugroziti dobra baštine. Kategorije događaja koje su uzete u obzir su: (1) neautorizovano pomeranje dobara, (2) prisustvo ljudi u prostoru u nedozvoljeno

vreme, (3) identifikacija dima u prostoru koji okružuje dobra. Alarmi se po "push" principu isporučuju samo onim administrativnim licima koja se nalaze na lokaciji baštine za koju se generiše alarm. Slično, aplikacija generiše izveštaje o ambijentalnim faktorima okruženja za prostor u kojem se nalazi administrativno lice, pronalazeći najbliži objedinjujući čvor u odnosu na trenutnu lokaciju korisnika.



Slika 2. Korisnički interfejs mobilne aplikacije za izveštavanje administrativnih lica

Mobilna aplikacija, pored prethodnog, omogućava autorizovanim administrativnim licima da se autorizuju za pomeranje pokretnih dobara i da definišu vremenske intervale u kojima nije dozvoljeno prisustvo ljudi u prostoru oko dobara.

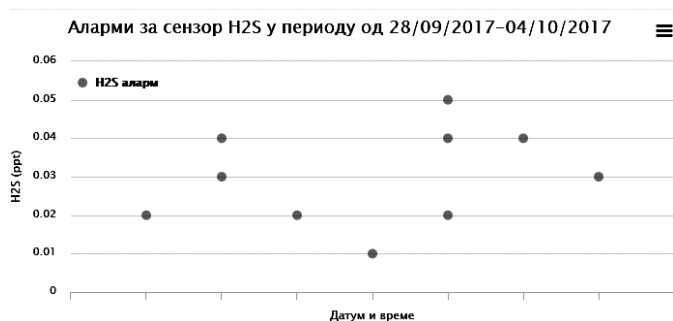
Dashboard aplikacija za monitoring dobara baštine omogućava administrativnim licima i Internet korisnicima da steknu uvid u različite podatke koji opisuju kontekst zaštite dobara baštine, omogućava izveštavanje i alarmiranje u realnom vremenu i pruža sumarne podatke o dobrima, lokacijama baštine i rezultate analiza.

Dashboard aplikacija omogućava pregled vrednosti parametara okruženja po lokacijama baštine, gde se obračunavaju prosečne vrednosti pokazatelja objedinjujućih čvorova u slučaju kada neka lokacija ima više objedinjujućih čvorova (senzora) koji prikupljaju podatke. Korisnicima se omogućava da za svaku lokaciju baštine definišu vremenski interval, za koji se predstavljaju prosečne vrednosti parametara u celini, kao i prosečne vrednosti parametara u različitim vremenskim periodima u toku dana.

Аритметичке вредности сензора у периоду од 28/09/2017-04/10/2017						
СЕНЗОР/ВРЕМЕ	AVG	09	12	15	18	21
H2S (ppm)	0.03 (● 9)	0.02	0.04 (● 6)	0.01	0.02	0.03 (● 3)
O3 (ppm)	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2
CO (ppm)	375.14 (● 7)	379.20 (● 4)	368.10	360.21 (● 3)	363.67	340.52
Прашина (mg/m3)	44.63	47.21	45.16	42.19	44.52	41.67
Притисак (mbar)	68.99	66.42	69.12	65.54	66.64	69.89
Температура (°C)	12	11	17	19	15	14
Влажност (%)	72.60%	70.12	69.53	74.63	69.88	73.13

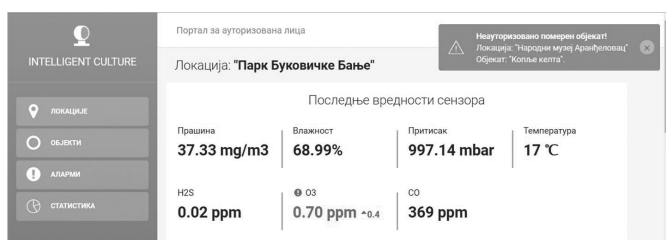
Slika 3: Prosečne vrednosti senzorskih pokazatelja za odabranu lokaciju u definisanom vremenskom intervalu

Pored prethodnog, za izabrani parametar okruženja daje se grafički prikaz istorije generisanih alarmnih poruka za odnosni parametar.



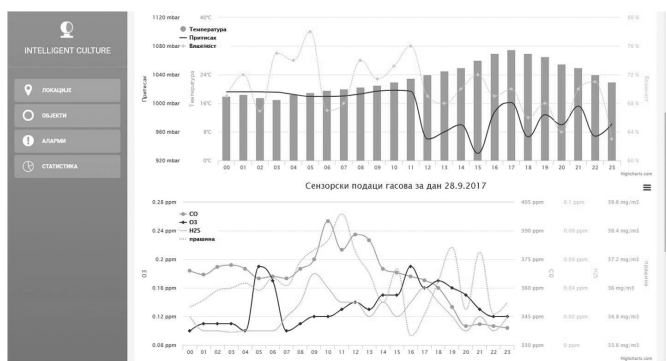
Slika 4: Podaci o generisanim alarmima na određenoj lokaciji baštine za izabrani parametar okruženja

Pored istorijskih podataka, za svaku lokaciju baštine može se tražiti pregled trenutnih vrednosti pokazatelja okruženja, kao i grafički pregled vrednosti temperature, pritiska i vlažnosti vazduha za vremenski period koji definiše korisnik. Dashboard aplikacija generiše interaktivne poruke u realnom vremenu u istim slučajevima u kojima se generišu alarmne poruke kod mobilne aplikacije. Istorijski podaci o ovim tipovima alarma se prikazuju u odeljku – Alarmi.



Slika 5: Alarmiranje i izveštavanje u realnom vremenu putem Dashboard aplikacije

Grafički su predstavljene vrednosti: CO, O₃, H₂S i koncentracija prašine za izabranu lokaciju baštine u okviru platforme, kao i podaci o broju generisanih alarma i broju pregleda objekata u okviru mobilne aplikacije.



Slika 6: Prikazi raznovrsnih pokazatelja za izabranu lokaciju baštine

Korisnicima se nudi mogućnost da sami definišu i kombinuju upite na način da mogu odabrati jedan ili više parametara okruženja, dobro ili lokaciju baštine i vremenski period za koji se generiše upit.

Aplikacija omogućava pregled podataka o parametrima okruženja na nivou pojedinačnih dobara koje definiše korisnik, gde se

alarmi (prekoračenja dozvoljenih vrednosti) generišu na nivou svakog dobra. Prethodno podrazumeva da se i dozvoljene vrednosti definišu za svako dobro posebno ili po grupama dobara, zavisno od njihove sličnosti. U odeljku statistike, daju se sumirani podaci na nivou različitih lokacija baštine u okviru platforme.



Slika 7: Pregled statističkih podataka po lokacijama

4. EVALUACIJA SISTEMA ZA MONITORING

Sistem za monitoring je evaluiran sa aspekta njegove upotrebljivosti i izvršena evaluacija je uključila 18 korisnika iz redova administrativnih lica koji su mobilnu aplikaciju za alarmiranje i veb portal za monitoring svakodnevno koristili u periodu od dva meseca. Administrativnim licima je postavljeno ukupno šest pitanja i rezultati evaluacije su pokazali:

- da upotreba sistema za monitoring vodi ka poboljšanom odnosu koju administrativna lica imaju ka primeni informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) u domenu monitoringa i zaštite dobara baštine. Veoma pozitivan odnos (ocene 4 i 5) prema primeni IKT tehnologija u ovom domenu pre početka korišćenja sistema imalo je 5 lica, dok je nakon upotrebe ovaj broj povećan na 12;
- većinski deo ispitanika izrazio je veoma pozitivan odnos u pogledu korisnosti sistema za monitoring pri planiranju preventivnih i zaštitnih mera (prosečna osena 4,6);
- polovina ispitanika je smatrala da je sistem za monitoring promenio način njihovog razmišljanja o kontekstu ugroženosti dobara (ocena 5), dok 6 ispitanika smatra da su podaci koje obezbeđuje sistem veoma korisni pri razumevanju konteksta ugroženosti i zaštite dobara. Niti jedan korisnik nije bio mišljenja da ove informacije nisu korisne ili da su veoma malo korisne pri razumevanju konteksta ugroženosti i zaštite dobara;
- većina ispitanika se saglasila da je sistem doveo do identifikacije događaja vezanih za zaštitu dobara koji ne bi bili identifikovani u slučaju kada se sistem ne bi koristio;
- da je čak 15 ispitanika imalo veoma pozitivan odnos u pogledu korisnosti lokacionog alarmiranja;
- svi ispitanici su se saglasili da je sistem za monitoring intenzivirao aktivnosti pri planiranju preventivnih i zaštitnih mera.

U toku praćenog perioda od dva meseca, mobilna aplikacija za izveštavanje i alarmiranje generisala je 15 poruka o različitim vidovima alarma koji zahtevaju trenutnu reakciju administrativnih lica. Svi događaji su blagovremeno i na adekvatan način rešeni.

5. ZAKLJUČAK

U radu je izložen model arhitekture sistema za monitoring dobara materijalne kulturne baštine koji se bazira na IoT pristupu, prezentovana njegova implementacija u okviru "Intelligent Culture" sistema grada Arandelovca i dati su rezultati evaluacije korisnosti odnosnog sistema. Rezultati evaluacije su pokazali da sistem pruža korisne informacije potrebne za modelovanje preventivnih i zaštitnih mera, da stimuliše aktivnosti na planiranju i realizaciji zaštite dobara, da vodi ka identifikaciji događaja ugrožavanja dobara, koji inače ne bi bili registrovani i da u globalu menja odnos koji administrativna lica imaju prema primeni informaciono-komunikacionih tehnologija u domenu praćenja i zaštite materijalne kulturne baštine.

Savremene informaciono – komunikacione tehnologije, a posebno paradigma Interneta inteligentnih uređaja omogućavaju da kulturna baština odoli izazovima sa kojima se suočava. Preduslov za prethodno je intenziviranje napora koji se ulažu u pronalaženju novih načina za primenu informaciono -komunikacionih tehnologija pri automatizovanom prikupljanju, obradi, analizi podataka i ekstrakciji znanja o kulturnoj baštini i razvoj svesti kod opšte zajednice o potrebama zaštite i očuvanja kulturne baštine.

6. LITERATURA

- [1] ICOMOS (2015) „Principles And Guidelines For Managing Tourism At Places Of Cultural And Heritage Significance”. ICOMOS International Cultural Tourism Committee (2002). Retrieved from: http://www.heritagemalta.org/erdf032/documents/06_ICOMOS%20International%20Cultural%20Tourism%20Charter.pdf
- [2] UNESCO, "Tangible Cultural Heritage", UNESCO office in Cairo, Retrieved from: <http://www.unesco.org/new/en/cairo/culture/tangible-cultural-heritage/>.
- [3] Atzori L., Iera A., Morabito G. (2014). "From "smart objects" to "social objects": The next evolutionary step of the IoT", Atzori L., Iera A., Morabito G., IEEE Comm. Mag., vol. 52, (2014), 97-105. doi: 0.1109/MCOM.2014.6710070
- [4] IETF (2015) "Architectural Considerations in Smart Object Networking", Internet Architecture Board, Request for Comments: 7452, ISSN: 2070-1721, (2015), Retrieved from: <https://tools.ietf.org/html/rfc7452>
- [5] Vermesan O & Friess P. (2014). „Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment”, River Publishers, (2014). Retrieved from: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf
- [6] Dionisi-Vici P., De Vincenzi M., Uzielli L. (2011). An analytical method for the determination of the climatic distance between different microclimates for the conservation of wooden cultural heritage objects. Stud. Conserv. 2011;56:41–57. doi: 10.1179/sic.2011.56.1.41
- [7] Allegretti O., Dionisi-Vici P., Bontadi J., Raffaelli F. (2017). The case study of the daughters of the emperor Ferdinand I by Jakob Seisenegger, in Trento (Italy): Analytical hygro-mechanical results as a support in risk assessment for technical interventions. Appl. Phys. A. 2017;123:38. doi: 10.1007/s00339-016-0609-3
- [8] Allegretti O., De Vincenzi M., Uzielli L., Dionisi-Vici P. (2013). Long-term hygromechanical monitoring of wooden objects of art (WOA): A tool for preventive conservation. J. Cult. Herit. 2013;14:e161–e164. doi: 10.1016/j.culher.2012.10.022
- [9] Sloan J., Klein L.J., Rodriguez S.A.B., Hamann H.F., Schrott A. (2014). Concealable strain sensing method for art preservation. Appl. Phys. A. 2014;115:829–836. doi: 10.1007/s00339-013-7871-4,
- [10] Mecklenburg M.F. (2007). Determining the acceptable ranges of relative humidity and temperature in museums and galleries. Smithon. Inst. 2007;1:1–57
- [11] Zhang Y. & Ye W. (2011). Design and placement of light monitoring system in museums based on wireless sensor networks; Proceedings of the 2011 International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (ADCONIP); Hangzhou, China. 23–26 May 2011; pp. 512–517.
- [12] Klein L. J., Bermudez S. A., Schott A., G., Tsukada M., Dionisi-Vici P., Kargere L., Marianno F., Hammann H.F., Lopez V., Leona M. (2017). Wireless Sensor Platform for Cultural Heritage Monitoring and Modeling System, Sensors, 2017, 17(9): 1998, doi :10.3390/s17091998
- [13] IEEE (2015) "Towards a definition of the Internet of Things (IoT)", IEEE Internet of Things, Revision 1, 2015. Retrieved from: http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf
- [14] Li, L., Ke, C., Xiaoguang, H. & Ketai, H. (2011) "The applications of WIFI-based wireless sensor network in internet of things and smart grid," 6th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. (ICIEA), 789-793. Doi: 10.1109/ICIEA.2011.5975693
- [15] Botti, C., Giorgus, K. & Mazzucchelli, L. "CUSPIS, a cultural heritage space identification system". Retrieved from: <http://www.exus.co.uk/Documents2/CUSPIS%20paperEVA.pdf>
- [16] SMooHS, Smart Monitoring of Historic Structures, Stranica projekta: <http://www.smoohs.eu/>
- [17] Rodríguez-Sánchez M. C., Borromeo S., & Hernández-Tamames J. A. (2011). "Wireless Sensor Networks for Conservation and Monitoring Cultural Assets", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 11, NO. 6, JUNE (2011). doi:10.1109/JSEN.2010.2093882
- [18] Chianese A. & Piccialli F. (2015) „Designing a smart museum: when Cultural Heritage joins IoT”, Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies (NGMAST) (2014) DOI: 10.1109/NGMAST.2014.21
- [19] Brammer K. & Siffling G. (1989). "Kalman Bucy Filters", Artech-House, doi: 10.1002/zamm.19770570831
- [20] Manyika, J. & Durrant-Whyte, H. (1992). „Data Fusion and Sensor Management: A Decentralized Information-Theoretic Approach”, Proc. SPIE 1828, Sensor Fusion V, (1 November 1992) Doi: 10.1117/12.131652
- [21] Amazon Web Services, <https://aws.amazon.com/>
- [22] Arduino, <https://www.arduino.cc/>
- [23] Eclipse Mosquitto, <https://projects.eclipse.org/projects/technology.mosquitto>
- [24] Android, <https://www.android.com/>



Tijana Matejić, MA, spec, Visoka tehnološka škola strukovnih studija – Arandelovac
Kontakt: tijana.matejic@vsar.edu.rs
Oblasti interesovanja: inteligentna okruženja, Internet inteligentnih uređaja, Cloud Computing, Data Mining



Nemanja Marković, Visoka tehnološka škola strukovnih studija – Arandelovac
Kontakt: nemanja.markovic@vsar.edu.rs
Oblasti interesovanja: informacioni sistemi, veb programiranje, baze podataka



dr Đorđe Mihailović, Visoka tehnološka škola strukovnih studija – Arandelovac
Kontakt: djordje.mihailovic@vsar.edu.rs
Oblasti interesovanja: E-poslovanje, E-učenje, informacioni sistemi