

UPORABA PLATFORME RAČUNALNIŠTVA V MEGLI PRI RAZVOJU APLIKACIJ ZA PAMETNO IN VARNO GRADNJO

THE USE OF A FOG COMPUTING PLATFORM FOR THE DEVELOPMENT OF APPLICATIONS FOR SMART AND SAFE CONSTRUCTION

Janez Brežnik, univ. dipl. inž. arh.
Petar Kochovski, mag. inž. rač. in inf.
izr. prof. dr. Vlado Stankovski, univ. dipl. inž.
rač. in inf.

vlado.stankovski@fri.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo
in informatiko

Večna pot 113, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek
UDK 004.7:69(497.4)

Povzetek | Sodobne informacijske tehnologije in tehnologije umetne inteligence si nezadržno utirajo pot v gradbeništvo in arhitekturi ter počasi spreminjajo obstoječe delovne procese, njihovo dinamiko in zanesljivost. V tem delu smo uporabili platformo računalništva v megli DECENTER pri izdelavi novega koncepta aplikacij za pametno in varno gradnjo. V članku so predstavljene naše izkušnje s platformo DECENTER ter z realizacijo aplikacije v kontekstu gradbišča Šumi v Ljubljani.

Ključne besede: računalništvo v megli, aplikacije za pametno in varno gradnjo

Summary | Modern information technologies and Artificial Intelligence are paving their way in the areas of construction and architecture, slowly changing the existing working processes, their dynamics and dependability. In this article we apply the DECENTER fog computing platform in the development of a new concept of applications for smart and safe construction. The article presents our experience with the DECENTER platform and the realisation of an application in the context of the Šumi construction site in Ljubljana.

Key words: fog computing, smart and safe construction

1 • UVOD

Sodobne informacijske tehnologije in tehnologije umetne inteligence si nezadržno utirajo pot v gradbeništvu in arhitekturi ter počasi spreminjajo obstoječe delovne procese, njihovo dinamiko in zanesljivost. Poleg izrednega napredka pri načrtovanju, predvsem pri informacijskem modeliranju stavb (ang. Building Information Modelling, BIM), pa ne gre spregledati velikega potenciala z uvedbo novih tehnologij na področju izvajanja gradenj, njihov prispevek k varnosti, kakovosti, trajnosti ter časovni učinkovitosti.

V preteklem delu (Štefanič, 2019) smo ugotovili področja možnih izboljšav. Poročali smo o analizi trendov, priložnostih in izzivih pametne gradnje s pregledom nedavno objavljenih znanstvenih člankov. Z razvojem t. i. pametnih gradbenih aplikacij je mogoče izpopolniti vodenje in organizacijo gradbišč, na primer povečati nadzor in sledljivost delovnih procesov gradnje, strojev in opreme ter zlasti s pravočasnim obveščanjem o morebitnih nesrečah pri delu izboljšati varnost ljudi in premoženja na gradbišču.

Izboljšanje varnosti ljudi spada med najpomembnejše izzive pametne gradnje. V Sloveniji se po zadnjih podatkih Inšpektorata Republike Slovenije (IRSD, 2018) iz leta 2018 gradbeništvo uvršča med najbolj nevarne gospodarske dejavnosti, po številu smrtnih nesreč pa je v vrhu. Statistika je bila neugodna že v preteklih obdobjih in se v zadnjem obdobju ni bistveno izboljšala, podobna pa je slika tudi v širšem geografskem kontekstu Evropske unije kot tudi v ZDA (OSHA). Poglavitni vzroki za nastanek nezgod so izguba nadzora nad delovno opremo, zdrsi, spotiki in padci delavcev ter padec bremena na delavca.

Po podatkih iz zadnjega poročila o delu inšpektorata RS za delo za leto 2018 so inšpektorji opravili nadzor na 314 gradbiščih in 51 deloviščih, na katerih so se večinoma opravljala kratkotrajna dela na višini. V desetletnem obdobju, od kar opravljajo celoletne akcije nadzora izvajanja predpisov o varnosti in zdravju pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih, so opravili 1419 pregledov pri 950 subjektih. Izsledki kažejo, da se povprečno obdobje, v katerem se opravljajo dela na gradbiščih, podaljšuje ter da se povečuje število gradbišč, na katerih se gradijo zahtevni objekti. Ugotovili so 367 nepravilnosti v zvezi z zagotavljanjem osebne varovalne opreme in njene uporabe ter neuporabe s strani posameznih delavcev, 71 kršitev glede vozil in delovne opreme na gradbiščih ter 27 kršitev glede varovanja gradbišča proti okolici v smislu onemogočanja dostopa nezaposlenim osebam na gradbišča. Velik problem v zadnjem obdobju predstavlja tudi dejstvo, da imajo srednje velika in majhna gradbena podjetja, ki so po propadu velikih podjetij prevzela gradbeni trg, nezadostne kapacitete ustrezno izobraženih strokovnih delavcev, ki bi skrbeli za izvajanje rednih pregledov po gradbiščih v zvezi z zagotavljanjem ukrepov varnosti pri delu, pri manjših delodajalcih pa teh profilov najpogosteje sploh ni.

S pomočjo sodobnih tehnologij in vključitvijo umetne inteligence je tako že mogoče zaznavati uporabo varnostne opreme, kot so na primer zaščitne čelade ali varnostnega telovnika, ter spremljati zaloge gradiv, delovne opreme, naprav in strojev. Skupaj z različnimi senzorji, napravami nosljivega računalništva in brezpilotnih letalnikov pa je mogoče v real-

nem času in pravočasno predvideti kritične situacije na delovišču.

Tehnologije interneta stvari, umetne inteligence in računalništva v oblaku ponujajo nove priložnosti za pametne aplikacije v številnih panogah. S hkratnim pospešenim razvojem, kjer se vztrajno izboljšujeta izurjenost in natančnost tehnologij umetne inteligence, in uvedbo novih standardov varovanja osebnih podatkov pa se pojavljajo novi izzivi zajemanja in upravljanja osebnih podatkov udeležencev pri gradnji. Potencialne koristi vključujejo izboljšanje industrijskih procesov, izdelkov in storitev, večjo zanesljivost in nižje operativne stroške.

Projekt DECENTER prispeva k uresničitvi vizije pametne gradnje, mest, domov in industrije 4.0. Cilj projekta je razviti decentralizirano platformo računalništva v megli (Bonomi, 2012), ki pokriva celoten nabor možnih pametnih storitev in naprav, od oblaka do interneta stvari, ter omogoča orkestracijo pametnih aplikacij in oskrbovanje z računskimi viri. Računalništvo v megli je računalništvo v oblaku, ki zadosti najvišjim zahtevam po zanesljivosti, varnosti, zasebnosti in zaupanju pri delovanju programskih storitev oziroma aplikacij. Platforma DECENTER izboljša kakovost storitev pri uporabi globokih nevronske mreže, omogoča razvoj pametnih aplikacij računalništva v megli ter upravljanje zasebnih podatkov. Rezultati projekta so za primer področja gradbeništva zelo zanimivi, zato smo si pri našem delu zastavili cilj, da platformo DECENTER uporabimo na konkretnem primeru razvoja aplikacije za pametno in varno gradnjo.

V nadaljevanju je predstavljena analiza trenutnega stanja, predstavljeni so konkretni problemi, ki smo jih naslovili pri našem delu, arhitekturo nove DECENTER-platforme računalništva v megli ter naši dosežki pri razvoju aplikacije za pametno in varno gradnjo.

2 • ANALIZA TRENUTNEGA STANJA

Tehnologije interneta stvari, umetne inteligence in računalništva v oblaku ponujajo nove priložnosti za pametne aplikacije na številnih področjih. Potencialne koristi vključujejo izboljšanje varovanja in varnosti, industrijskih procesov, izdelkov in storitev, večjo zanesljivost in nižje operativne stroške. Čeprav so pametne aplikacije že prisotne v različnih industrijskih panogah, je splošen vtis, da gradbeno področje zaostaja, kar izkazuje pomanjkanje študij, ki bi vključevale integrirano uporabo interneta

stvari, umetne inteligence, tehnologij računalništva v oblaku in tehnologij veriženja blokov. Razvoj pametnih aplikacij na opredeljenih problematičnih področjih (nadzor in sledljivost delovnih procesov gradnje, strojev in opreme, pravočasno obveščanje o morebitnih nesrečah pri delu, izboljšanje varnosti ljudi in premoženja na gradbišču) zahteva integracijo zapletenih fizičnih in programskih virov, od senzorjev in kamer do programske opreme za

obdelavo časovnih serij in videotokov, metod umetne inteligence za pridobivanje informacij, združitev podatkov in programsko opremo za vizualizacije. Poleg tega so potrebna posebna orodja za upravljanje nefunkcionalnih lastnosti aplikacij, vključno z njihovo zanesljivostjo, varnostjo in zasebnostjo.

Številne pametne gradbeniške aplikacije so časovno kritične in jih je treba načrtovati z upoštevanjem teh zahtev. V skladu s tem bo vsako novo pametno gradbišče, ki vključuje številne pametne aplikacije, treba načrtovati vnaprej. Oblikovanje časovno kritičnih pametnih aplikacij je še posebej zahtevno zaradi

Eden od načinov za reševanje različnih težav je uporaba sodobnih programskih meril za časovno kritične aplikacije v oblaku. Z njimi in s sledenjem gibanja DevOps (Ebert C., 2016) bo kmalu mogoče nemoteno integrirati naprave interneta stvari in lastne funkcije (na primer metode umetne inteligence) in umeščati pametne aplikacije med ponudnike storitev v oblaku in megle na način, ki obravnava kritične zahteve.

pretres in izguba paketov (Kochovski, 2018). Uporaba virtualizacije na vsebnikih bo omogočila tudi uporabo in upravljanje različnih algoritmov umetne inteligence in programske opreme bližje podatkovnim tokom, s čimer se bodo zmanjšale zahteve po velikem omrežnem prometu in obravnavi zahtev glede zasebnosti in varnosti podatkov, ki so potrebne za delovanje pametnih gradbenih okolij.

V nadaljevanju smo se ukvarjali z definicijo aplikacijskih scenarijev in smo tako ugotovili nekaj ciljev za preizkus novih tehnologij. Pri našem delu smo vključili scenarije za nadzor, spremljanje gradnje, varnost pri delu, zgodnje opozarjanje pred nesrečami in upravljanje

Naši dodatni cilji pa so tudi uporabiti tehnologijo DECENTER pri načrtovanju pametnih aplikacij in izvedba vseh korakov tehnične izvedbe s kamerami, priključenimi na inter-

V **scenariju 1 (prepoznavanje vozil)** je kamera nameščena v območju gradbišča, na drogu ali servisnem objektu na višini 3,0 m ob dovozni poti nasproti vhoda ter zajema sliko vhoda na gradbišče. V kadru so zajeti prizori gibljivih objektov, vozil in ljudi, ki se



pojavi na vhodu gradbišča. Zajeti podatki, video oziroma skupek slik, so analizirani s pomočjo orodij umetne inteligence z namenom prepoznavne in identifikacije vozil, ki dostopajo na gradbišče. S slik prepoznavamo tip, barvo in registrsko številko vozila. Iz priučene baze podatkov opredelimo, ali je vozilo, ki se pojavi na vhodu, upravičeno do vstopa na gradbišče oz. dostopa na gradbišče vozilo, ki je vpisano v podatkovni bazi kot preverjen tip objekta. V primeru dostopa neznanega vozila se aktivira opozorilni signal.

V **scenariju 2 (prepoznavanje ljudi in uporabe varnostne opreme)** kamera zajema sliko delovišča na gradbišču. Zajeti podatki se, na enak način kot v scenariju 1, analizirajo z namenom identifikacije uporabe določene pred-

pisane varnostne opreme oseb, ki se gibajo na delovišču gradbišča. S slik prepoznavamo, ali se na gradbišču pojavi oseba in ali oseba nosi zaščitno čelado in varnostni telovnik. Iz priučene baze podatkov opredelimo, ali se oseba, ki se pojavi na delovišču, lahko giba na delovišču gradbišča ali ne. V primeru zaznave nepooblaščenega gibanja oseb in oseb brez predpisane varnostne opreme se aktivira opozorilni signal.

Vremenska postaja, nameščena na strehi gradbiščne pisarne ali na konstrukciji delovnega odra na delovišču v **scenariju 3 (detekcija škodljivih delovnih pogojev)**, z različnimi tipali spremlja vremenske delovne pogoje v časovnem intervalu 30 minut, tipalo gibanja pa prisotnost oseb. Zajeti podatki: temperatura,

vlaga, zračni tok – veter, zračni pritisk, nivo hrupa in koncentracija CO₂ skupaj s prepoznavo prisotnosti osebe (gradbiščnega delavca) so analizirani z namenom takojšnje prepoznave in predvidevanja človeku škodljivih in nevarnih delovnih pogojev.

V **scenariju 4 (prepoznavanje predmetov)** kamera, nameščena v skladišču opreme ali na deponiji gradbišča, zajema prizor prostora, namenjenega shranjevanju delovnega orodja, strojev ter gradiv, ki predstavljajo veliko mero tveganja odtujitve. Namen prepoznave je identifikiranje predmetov in njihove prisotnosti v časovnem odnosu ter aktiviranje opozorilnega signala v primeru manjkajočega predmeta po preteku določenega časovnega okvira oziroma po uporabi.

4 • PLATFORMA RAČUNALNIŠTVA V MEGLI DECENTER

Dandanes obstaja veliko platform, ki uporabljajo metodologijo DevOps (npr. DECENTER, SWITCH, fabric8). Vendar je platforma računalništva v megli DECENTER posebej razvita za podporo celotnega življenjskega cikla aplikacij umetne inteligence. Platforma računalništva v megli in posredovanje virov DECENTER združuje tehnologije interneta stvari, umetne inteligence, veriženja blokov in računalništva v oblaku z namenom lažjega ustvarjanja pametnih aplikacij, kjer se računalniški viri, ki zajemajo infrastrukturo od oblaka do roba in vire interneta stvari, npr. senzorje, aktuatorje, lahko orkestrirajo v dinamično ustvarjenih in združenih okoljih.

Ključne novosti platforme so naslednje:

- omogoča orkestracijo mikrorstitev, ki vsebujejo metode umetne inteligence, v odvisnosti od kakovosti storitev na podlagi aplikacijskih zahtev;
- podpira regulacijo čezmejno posredovanih virov, ki temelji na tehnologiji veriženja blokov in pametnih pogodb;
- poenostavi vpeljavo inteligence v internet stvari, ki temelji na algoritmičnih globokih nevronske mreže za pridobivanje kontekstnih informacij iz podatkov interneta stvari;
- preferira uporabo hibridnih decentraliziranih modelov umetne inteligence, ki izkoriščajo in obravnavajo potrebe po lokaciji podatkov in časovno kritične vidike problema velepodatkov (ang. Big Data).

Platformo DECENTER sestavljajo trije glavni sloji: infrastrukturni, platformni in aplikacijski sloj. Infrastrukturni sloj sestavljajo računal-

niška in omrežna oprema, naprave interneta stvari in naprave za shranjevanje podatkov. Platformno plast sestavljajo logične komponente za odkrivanje, posredovanje in orkestracijo virov iz celotnega kontinuuma od oblaka do interneta stvari. Aplikacijski sloj se uporablja za sestavljanje aplikacij za izkoriščanje različnih metod in modelov umetne inteligence. V nadaljevanju so posamezni sloji podrobneje opisani.

A. Infrastrukturni sloj

Nove aplikacije umetne inteligence so časovno kritične, zato je treba obravnavati njihove zahteve glede kakovosti storitev, npr. visoka in hitra odzivnost, velika pasovna širina in hitri izračuni. Za reševanje takšnih zahtev je bil infrastrukturni sloj platforme DECENTER zasnovan za orkestracijo mikrorstitev od oblaka do roba omrežja. Več računskih stopenj od oblaka do roba se večinoma razlikuje med lastnostmi, kot so računska zmogljivost, zmogljivost omrežja in geolokacija. Oblak je sestavljen iz podatkovnih centrov, ki ponujajo odlično računalniško moč in velike zmogljivosti za shranjevanje podatkov. Megla se dojema kot računalniški viri, ki obstajajo med oblakom in robom. Računalništvo na robu je visoko porazdeljeno računalniško okolje, sestavljeno iz naprav z majhno močjo, ki omogoča izvajanje preprostih računskih nalog v neposredni bližini fizičnih naprav, to je kamer in senzorjev.

Platforma DECENTER predvideva scenarije, kjer lahko ponudniki infrastrukture medsebojno komunicirajo in združujejo svoje vire za

zagotavljanje storitev uporabnikom. Vendar platforma DECENTER ne predstavlja le napredka na nivoju infrastrukture, temveč se osredotoča tudi na obstoječo strojno opremo za zagotavljanje računalniških zmogljivosti računalništva v megli.

B. Platformni sloj

Platformni sloj je postavljen med plastjo infrastrukture in aplikacije in omogoča več funkcionalnosti: (1) nastavitve in upravljanje visoko porazdeljenih in heterogenih računalniških okolij, (2) sestavljanje aplikacij v oblaku iz vsebinskih mikroservisov in definiranje zahtev kakovosti storitev, (3) namestitve in orkestracija aplikacij, (4) posredovanje in pogajanja virov, ki spadajo v različne administrativne domene.

Za doseganje potrebnih funkcionalnosti je platforma sestavljena iz dveh podstojev:

- Platforma računalništva v megli, ki je odgovorna za sestavljanje aplikacij, razvrščanje virov in orkestracijo od oblaka do roba. Aplikacija je specifična na podlagi standarda OASIS TOSCA (Binz T., 2013) in posredovana orkestratorju FogAtlas. Orkestrator upošteva trenutno stanje razpoložljive infrastrukture, sproži algoritme odločanja in izvede postopek orkestracije po sprejeti odločitvi.
- Platforma za posredovanje je mehanizem, ki omogoča izmenjavo računalniških virov od oblaka do roba. Zlasti platforma za posredovanje omogoča, da ponudniki infrastrukture registrirajo svoje vire na verigi blokov (ang. Blockchain) Ethereum, medtem ko lahko uporabniki izberejo vir, ki bo ustrezal zahtevam po kakovosti storitev njihove aplikacije. Posto-

pek registracije in izbire virov se izvede z izvajanjem pametnih pogodb na verigi blokov.

C. Sloj aplikacij

Aplikacijski sloj vključuje dve vrsti entitet, ki ponujajo dopolnilne funkcije: aplikacije in aplikacijske storitve. Aplikacije, ki uporab-

ljajo metode in modele globokih nevronskih mrež, uporabljajo vire od oblaka do stvari (ang. Cloud-to-Things) za izvajanje natančno opredeljenih poslovnih nalog in jih oblikujejo razvijalci aplikacij. Po drugi strani aplikacijske storitve zagotavljajo nekatere splošne namene, ne pa aplikacijsko specifične funkcije, ki jih lahko uporabljajo

jo različne aplikacije. Na primer, uporaba metode ekstrakcije funkcij iz videotokov, npr. za odkrivanje delavcev, ki nosijo varnostno opremo, so na voljo kot aplikacijske storitve. Razvijalci aplikacij jih lahko uporabijo za izvajanje poslovne logike aplikacij, ne da bi morali za začetek izvajati njihove funkcionalnosti.

5 • NAČRT APLIKACIJE ZA PAMETNO IN VARNO GRADNJO

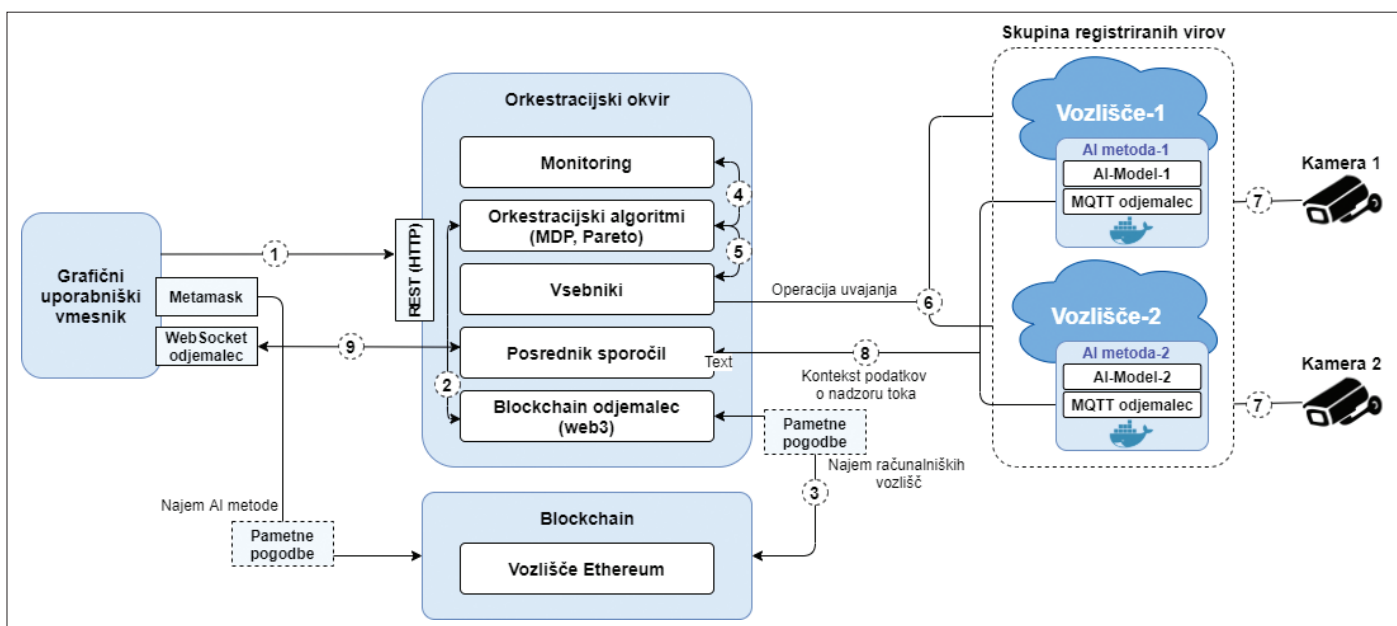
V tem delu predlagamo dvotirno zasnovo aplikacije za pametno in varno gradnjo, ki uporablja metode globokih nevronskih mrež za obdelavo podatkov videonadzora. Aplikacija, ki jo predlaga ta članek, ponuja dve glavni funkcionalnosti, ki sta: (1) registriranje modelov globokih nevronskih mrež v verigi blokov in (2) izvajanje avtomatizirane orkestracije aplikacij umetne inteligence z zaupanjem vrednih računalniških vozlišč. Sama platforma DECENTER omogoča začasni najem modelov umetne inteligence za določen čas njihove uporabe. Arhitektura predlagane aplikacije, ki ponuja potek dela obeh funkcij, je prikazana na sliki 2.

Prva funkcionalnost bo uporabnikom omogočala registracijo svojih storitev v verigi blokov. To bo omogočilo delovanje sistema samo z zaupanja vrednimi storitvami, kjer je mogoče slediti ponudnikom storitev ter transakcije med potrošniki in ponudniki mogoče izvajati pregledno. Za registracijo modela umetne nevron-

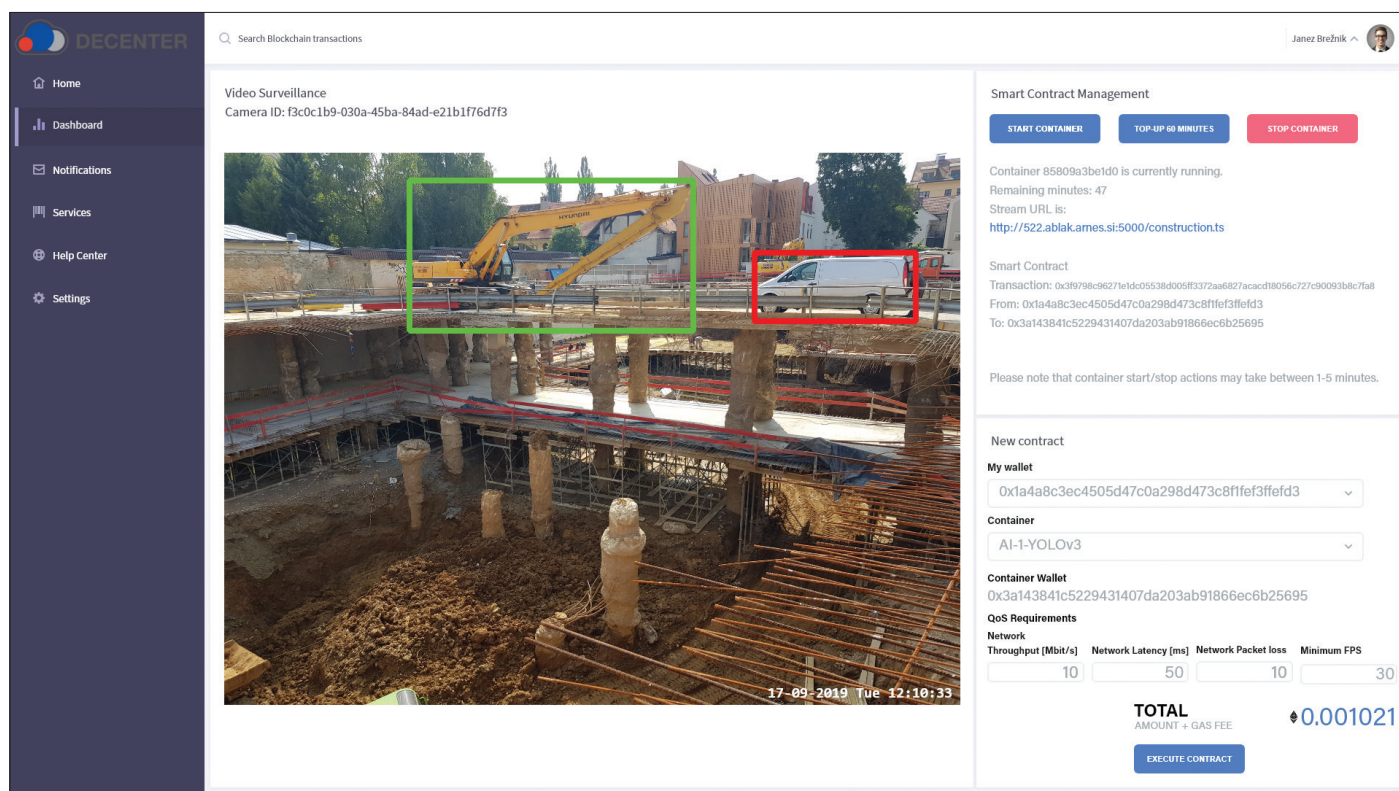
ske mreže na verigi blokov ponudnik storitev uporablja grafični uporabniški vmesnik, ki integrira denarnico Metamask. Ko ponudnik storitev vnese vse potrebne metapodatke o storitvi (npr. vrsto modela, ceno, lokacijo, dostopni URL in podobno), prek Metamask izvede pametno pogodbo. Ko je pametna pogodba uspešno izvedena, bo storitev registrirana na verigi blokov, kjer je status registracije mogoče kadarkoli preveriti.

Druga funkcionalnost je nekoliko bolj zapletena in je sestavljena iz 9 zaporednih korakov. (1) Uporabnik storitve nastavi možnost kakovosti storitve, npr. prepustnost omrežja, zakasnitev omrežja, izguba paketov in minimalno število sličic na sekundo (ang. Frame Per Second, FPS) za možnost uvajanja, izbere model globoke nevronske mreže za najem in izbere svojo javno denarnico. Te informacije se posredujejo orkestratorju. (2) Algoritem za orkestracijo (Kochovski, 2019) prejme zahtevo in vzpostavi stik z odjemalcem verige blokov,

ki izvede pametno pogodbo in pridobi dostop do zahtevanega modela globoke nevronske mreže. (3) Če je pametna pogodba uspešno izvedena (Gec S., 2018), bo sprožila operacijo uvajanja, po kateri algoritem orkestracije pridobi nadzorne metrike iz nadzornega sistema (4) in navodilo za namestitev v obliki YAML-datoteke posreduje orkestratorju Kubernetes (5). Ko so komponente aplikacije razporejene na optimalnih vozliščih (6), začnejo sprejemati podatke iz videonadzornega toka (7). Podatki videonadzora se nato nenehno obdelujejo za odkrivanje predmetov in identifikacijo osebe. Če Tensorflow metoda globoke nevronske mreže (Abadi, 2016) na videoposnetku zazna kakšno kršitev, npr. zazna vozilo ali osebo na omejenih območjih ali identificira neznano osebo v prostorih gradbišča, (8) posreduje kontekstne podatke posredniku sporočil, na primer Apache Kafka (Thein, 2014), ki bo takoj posredoval obvestilo naročenemu uporabniku (9). Ko potrošnik storitve porabi predplačilo za dostop do modela globoke nevronske mreže, bo o njem obveščen, da bo plačal račun ali pa bo pametna pogodba storitev prekinila.



Slika 2 • Grafična upodobitev arhitekture aplikacije.



Slika 3 • Grafični uporabniški vmesnik aplikacije DECENTER.

Grafični uporabniški vmesnik aplikacije sledi sodobnim smernicam tovrstnih vmesnikov, da bi omogočal uporabniku čim bolj intuitivno in pregledno uporabniško izkušnjo z uporabo enostavnih grafičnih elementov, razporejenih v vertikalno ortogonalno mrežo oken. Na sliki 3 je prikazan osnutek vmesnika v angleškem jeziku, ki je v osnovi razdeljen na tri vertikalne pasove: navigacijski pas, osrednji grafični pas ter pas z podrobnejšimi numeričnimi in besedilnimi informacijami, slednja na vrhu povezuje iskalna pasica z identifikacijsko sliko in spustnim menijem za preklap med uporabniki. Navigacijski pas z logotipom na levi strani uporabniku omogoča pregledno opravilno navigacijo med vsebinami aplikacije, ki so opremljene z

značilnimi piktogrami: na vrhu je povezava do začetne strani aplikacije (Home), sledi nadzorna plošča (Dashboard), ki predstavlja glavni opravljeni vir, nato povezava do obvestil uporabniku (Notifications), povezava do različnih storitev (Services), povezava do centra za pomoč uporabnikom (Help Center) in na koncu nastavitve (Settings). Slika 3 prikazuje primer videza nadzorne plošče, kjer je v osrednjem delu slika iz videovira z gradbišča, opremljena z značilnimi mejnimi pravokotniki (bounding boxes), ki jasno in kontrastno označujejo zaznane objekte ter njihov avtorizacijski status. Z grafične opreme slike je mogoče takoj ugotoviti, da sta z analizo videa prepoznana dva objekta, v zelenem okvirju avtoriziran, v rdečem

pa objekt, ki ne ustreza postavljenim zahtevam. Nad sliko je še referenčna številka kamere oz. videovira, v desnem kotu slike pa še osnovni časovni podatki zajete slike. V desnem pasu so vertikalno, po sklopih, razdeljeni različni besedilni in numerični podatki pametne pogodbe (referenčna številka pogodbe, naslov uporabnika in izvajalca storitve), s katero omogočimo izvršitev aplikacijskih funkcionalnosti, skupaj z gumbi upravljanja vklopa določenih časovno plačljivih storitev. Spodnji del levega pasu prikazuje razpoložljiva sredstva uporabnika v odnosu s časom, ki se prikazujejo v okencih metra ali odštevalnika prenesenih podatkov, mogoče pa je spremljati tudi hitrost prenosa, pretočnost, izgube in število sličic na minuto.

6 • SKLEP

Razvoj pametnih aplikacij na opredeljenih problematičnih področjih zahteva integracijo kompleksnih računskih in programskih virov, od senzorjev in kamer do programske opreme za obdelavo časovnih serij in videotokov, metod umetne inteligence za pridobivanje funkcij, zlivanje podatkov in vizualizacijsko programsko opremo. Poleg tega so potrebna posebna orodja za upravljanje nefunkcio-

nalnih lastnosti aplikacij, vključno z njihovo zanesljivostjo, varnostjo in zasebnostjo.

Številne pametne gradbene aplikacije so časovno kritične in jih je treba oblikovati ob upoštevanju te zahteve (glej sliko 2). V skladu s tem bo vsako novo pametno gradbišče, ki vključuje potencialno več sto pametnih aplikacij, treba načrtovati vnaprej. Oblikovanje časovno kritičnih pametnih aplikacij je še

posebej zahtevno zaradi dinamične narave konstrukcije – vsak projekt ima svoje edinstvene cilje, velikost, opremo, delavce, podatke in težave, ki jih je treba rešiti.

Eden od načinov za reševanje različnih težav je uporaba sodobnih programskih okolij za časovno kritičnih aplikacij v oblaku. Z njimi in s sledenjem kulture DevOps bo kmalu mogoče nemoteno integrirati IoT-naprave in lastne funkcije (na primer metode umetne inteligence) in umeščati pametne aplikacije med ponudnike oblakov in megle na način, ki obravnava kritične zahteve.

Nastajajoča vizija je, da bodo podatki, ki prihajajo iz senzorjev, vključno z videotokovi, najprej obdelani v napravah na robu omrežja, ki so geografsko blizu dejanskemu gradbišču. Ta pristop bi obravnaval pomembne zahteve glede zanesljivosti, varnosti in zasebnosti. Z uporabo pristopa računalništva v megli se bodo bistveno izboljšale meritve kakovosti storitve, ki temeljijo na omrežju, kot so pasovna širina, zamuda, trepetanje in izguba paketov (Kochovski, 2018). Uporaba virtualizacije na vsebnikih bo omogočila tudi uporabo

in upravljanje različnih algoritmov umetne inteligence in programske opreme bližje podatkovnim tokom, s čimer se bo zmanjšala potreba po velikem prometu po omrežju in obravnavali zahteve glede zasebnosti in varnosti podatkov, ki so potrebne za delovanje pametnih gradbenih okolij.

Naše delo na eni strani razkriva velik uporabni potencial na področju gradbeništva in na drugi zelo nizek izkoristek najnovejših tehnologij. Od integracije interneta stvari, umetne inteligence in tehnologij računalni-

štva v oblaku se še vedno pričakujejo velike koristi, vključno z visoko stopnjo zanesljivosti, zmogljivosti, razpoložljivosti, zanesljivosti, avtomatizacije, varnosti podatkov in zasebnosti, reševanja časovno pomembnih vidikov, izboljšane energetske učinkovitosti in zmanjševanje operativnih stroškov. Prihodnje delo avtorjev bo osredotočeno na zasnovo in izvedbo enotnega pametnega gradbišča, ki bo obravnavalo več opredeljenih problematičnih področij.

7 • ZAHVALA

Ta projekt je financiran od raziskovalno-inovacijskega programa Obzorje 2020 Evropske unije na podlagi pogodbe št. 815141 (DECENTER: Decentralised technologies for orchestrated Cloud-to-Edge intelligence). Avtorji se zahvaljujemo podjetju CGP Novo mesto za dostop do realnega gradbišča Šumi pri obravnavi primerov uporabe aplikacij za pametno in varno gradnjo.

8 • LITERATURA

Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., Devin, M., Ghemawat, S., Irving, G., Isard, M., Kudlur, M., Levenberg, J., Monga, R., Moore, S., Murray, D. G., Steiner, B., Tucker, P., Vasudevan, V., Warden, P., Wicke, M., Yu, Y., Zheng, X., Tensorflow: A system for large-scale machine learning, 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation, pp. 265-283, 2016.

Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., Addepalli, S., Fog computing and its role in the internet of things, Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, ACM, pp. 13–16, 2012.

Binz, T., Breitenbücher, U., Haupt, F., Kopp, O., Leymann, F., Nowak, A., Wagner, S., OpenTOSCA—a runtime for TOSCA-based cloud applications, International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

Ebert, C., Gallardo, G., Hernantes, J., Serrano, N., DevOps, IEEE Software Volume: 33, Issue: 3, May-June 2016.

Gec, S., Lavbič, D., Bajec, M., Stankovski, V., Smart contracts for container based video conferencing services: Architecture and implementation, Springer, Cham, pp. 219-233, 2018.

Kochovski, P., Drobintsev, P. D., Stankovski, V., Formal Quality of Service assurances, ranking and verification of cloud deployment options with a probabilistic model checking method Information and Software Technology, vol. 109, pp.14-25, 2019.

Kochovski, P., Stankovski, V., Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications, Automation in Construction, vol. 85, pp. 182-192, 2018.

RS MDDSZ IRSD, Poročilo o delu inšpektorata rs za delo za leto 2018; spletna objava: <https://zsssaupnikvzd.us18.list-manage.com/track/click?u=9b99f82b0ebbeb44a108af8a2&id=2f96e129eb&e=c72a99aec2>, 2019.

Štefanič, M., Stankovski, V., A review of technologies and applications for smart construction, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering, vol. 172 Issue 2, pp. 83-87, 2019.

Thein, K. M. M., Apache kafka: Next generation distributed messaging system, International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, vol. 3 Issue 47, pp. 9478-9483, 2014.