

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.01>

MONITORING PROCESA GRAĐENJA PRIMJENOM DIGITALNE TEHNOLOGIJE PREPOZNAVANJA OBJEKATA

CONSTRUCTION PROCESS MONITORING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE OBJECT DETECTION

Hana Begić¹

(1) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, R. Hrvatska, hbegic@gfos.hr

Sažetak

U radu je prikazan monitoring procesa građenja, primjeri njegove automatizacije te primjeri primjene digitalne tehnologije prepoznavanja objekata pri monitoringu građenja. S obzirom na to da građevinsku industriju obično karakteriziraju niska produktivnost, premašivanje troškova, vremenskih rokova te pojavljivanje neočekivanih problema, može se reći kako je pravovremen monitoring ključan za uspješnost projekta. Kvalitetnim monitoringom moguće je uspješnije planiranje troškova, rokova i resursa te je moguće podatke iz prethodnih projekata upotrijebiti u sličnim novim projektima za poboljšane planove. Pojavom novih tehnologija dolazi do automatizacije monitoringa čija primjena omogućuje smanjenje troškova, trajanje projekta te detaljno prikupljanje podataka o postojećim građevinama. Osim automatizacije monitoringa procesa građenja, moguća je i automatizacija ažuriranja planova u tijeku građenja čime se kontinuirano mogu pratiti napredak odnosno izvršenje pojedinoga elementa i cijele građevine te pomoci planiranih rokova. Digitalna tehnologija prepoznavanja objekata našla je svoju primjenu u monitoringu procesa građenja te pokazala bitna poboljšanja u aspektima povećanja učinkovitosti, kvalitete i sigurnosti u projektu.

Ključne riječi: monitoring građenja, prepoznavanje objekata, automatizacija monitoringa

Abstract

This paper presents the monitoring of the construction process, examples of its automation and examples of the application of digital object recognition technology in construction monitoring. Given that the construction industry is usually characterized by low productivity, cost overruns, missing deadlines and the emergence of unexpected problems, it can be said that timely monitoring is the key to project success. With quality monitoring, it is possible to plan costs, deadlines and resources more successfully, and use data from previous projects in similar new for improved plans. The emergence of new technologies leads to the automation of monitoring, the application of which enables the reduction of costs, project duration and detailed collection of data on existing buildings. In addition to automating the monitoring of the construction process, it is also possible to automate the updating of plans during construction, which enables continuous monitoring of the progress or execution of each element and the entire building with the shift of

planned deadlines. Digital object recognition technology has found its application in monitoring the construction process and has shown significant improvements in terms of increasing efficiency, quality and safety in the project.

Keywords: construction process monitoring, object detection, automation of monitoring

1. Uvod

Pravovremenim i kvalitetnim monitoringom moguće je uspješnije planiranje troškova, rokova i resursa. Razvitkom digitalnih tehnologija dolazi do automatizacije monitoringa koja omogućava proaktivni monitoring odnosno smanjenje troškova projekta, njegovo trajanje te detaljno prikupljanje podataka o prethodnim projektima. S obzirom na važnost faze planiranja projekta, razvija se i automatizacija ažuriranja planova čime se kontinuirano može pratiti napredak odnosno izvršenje projekta te eventualni pomaci planiranih rokova. U ovome poglavlju prikazani su monitoring građevinskoga projekta, primjeri njegove automatizacije te primjeri automatizacije ažuriranja planova.

1.1. Monitoring građevinskoga projekta

Građevinsku industriju obično karakteriziraju niska produktivnost, premašivanje troškova, vremenskih rokova te pojavljivanje neočekivanih problema. Osim toga svaki je građevinski projekt jedinstven, stoga svaki zahtijeva i specifičan pristup. To se odnosi i na monitoring odnosno praćenje gradilišta i napretka građevinskoga projekta. Zato je već u početku planiranja pojedinoga projekta potrebno voditi računa o vrsti monitoringa te o zahtjevima koji se za njega postavljaju (1). Osim jedinstvenosti projekta brojni su razlozi zašto je faza planiranja od kritičnoga značaja u projektu, kao što su planiranje troškova, rokova, resursa te ostaloga što će pružiti podlogu za kvalitetan monitoring projekta. Iz navedenih razloga potrebno je već pri izradi projekta odlučiti o mjerljivim veličinama koje će se pomoću monitoringa uspoređivati, odnosno pomoću kojih će se početno stanje usporediti s trenutačnim ili konačnim stanjem, čime će se utvrditi razina izvršenosti projekta ili njegova pojedinog projekta. Može se reći kako je pravovremen monitoring ključan za uspješnost projekta jer omogućava utvrđivanje svih odstupanja od plana uz potencijalne probleme, a ostaje dovoljno vremena za pronalazak prikladna rješenja (2). Što je više vremena potrebno za utvrđivanje odstupanja od plana, to korektivne mjere postaju skuplje i kompleksnije, a potencijalna se šteta za projekt povećava. Zbog toga se praćenje napretka projekta smatra jednim od najvećih izazova s kojima se voditelj gradilišta susreće s obzirom na kompleksnost ciljeva te veze među aktivnostima (3). Osim što se monitoringom utvrđuje stanje trenutačnoga projekta, podatci prikupljeni monitoringom mogu se koristiti i za buduće projekte, čime se postiže uspješnije planiranje troškova, rokova i alokacije resursa (4). S obzirom na to da su tradicionalne tehnike monitoringa skupe i dugotrajne, nisu u velikoj mjeri zastupljene u tvrtkama te time posljedično nedostaje i podataka iz prethodnih projekata na kojima bi se temeljili novi, poboljšani planovi za buduće projekte. Također, tradicionalnim monitoringom nije moguće prikupiti i analizirati podatke tijekom jednoga radnog dana, nego su dostupni na dnevnoj ili tjednoj bazi izvješća nakon analize kada je često već kasno za poduzimanje pravovremenih korektivnih mjera. Zbog navedenih nedostataka tradicionalnoga monitoringa posljednjih godina dolazi do razvitka digitalnih tehnika praćenja projekta što je omogućeno razvitkom informacijskih i komunikacijskih tehnologija (3), primjerice *time-lapse* fotografija, pametne kamere, 3D laserskoga skeniranje, fotogrametrija, RFID (*radio-frequency identification*) tehnologija i slično.

Prema (5) najekonomičniji način za mjerenje napretka projekta jest automatizacija kontrole projekta, što osim automatizacije ocjene napretka podrazumijeva i automatizaciju planiranja aktivnosti, resursa, strukture projekta i odgovornosti tijekom svih faza građevinskoga projekta.

1.2. Automatizacija monitoringa

Automatizacija monitoringa građevinskoga projekta započela je nešto kasnije nego automatizacije ostalih faza životnoga ciklusa projekta. Okvirnim početkom može se smatrati 2002. godina kada je započeo rad na automatizaciji komunikacijskoga sustava za olakšanu razmjenu informacija među članovima projekta (6). Rezultati istraživanja pokazali su smanjenje radnoga vremena, točnije skraćeno potrebnoga vremena za distribuciju nacрта projekta relevantnim podizvođačima više od 90 %, što je posljedično generiralo i bitno smanjenje troškova. Važan čimbenik koji se može automatizirano mjeriti s obzirom na izvedbu projekta jest rad radnika s idejom mjerenja njihove lokacije primjenom automatiziranoga prikupljanja podataka (*automated data collection* – ADC) i integrirati ga s modelom projekta zgrade (*building project model* – BPM), pri čemu BPM sadrži informacije o geometriji zgrade, resursima dodijeljenim određenim aktivnostima i planiranome rasporedu (7). Dobar je primjer i automatizirani računalni sustav praćenja u stvarnome vremenu nazvan PHOTO-NET II gdje su *time-lapse* fotografije zabilježene pomoću kamera na gradilištu te se kasnije koriste za usporedbu planiranoga i izvršenoga stanja (8). Osim praćenja napretka projekta, zabilježen je i primjer automatiziranoga praćenja nesigurnih aktivnosti u projektu kojim se utvrđuju opasne lokacije na gradilištu te daju upozorenja i predlažu zaštitne mjere (9). Nadalje, razvijen je i automatizirani sustav za lokalizaciju materijala pomoću RFID tehnologije (10). S razvitkom senzora za prikupljanje podataka, razvijeno je i nekoliko metoda prikupljanja podataka s gradilišta prikazanih u (11–13). U današnje je vrijeme pomoću bespilotnih letjelica (14) moguće i prikupljanje detaljnih podataka o konstrukciji kao što su konstrukcijski elementi građevine, volumen betona, detekcija pukotina i slično, a moguća je čak i integracija bespilotne letjelice s bespilotnim vozilom (15).

1.3. Automatizacija ažuriranja planova u tijeku građenja

Potreba za automatizacijom ažuriranja planova prikazana je 2005. godine u radu (16) u kojem je na primjeru gradilišta autoceste prikazana potreba za snimanjem, prenošenjem i spremanjem podataka u svezi s gradilištem za procjenu statusa odnosno izvršenosti projekta. Prilikom studije uočeno je kako se najveći problemi javljaju u svezi sa zabilježavanjem kvantitativnih podataka i to posebice onih koji zahtijevaju izmjere ili izračune. Unatoč potrebi, pokušaji automatizacije ažuriranja pojavljuju se godinama kasnije te je u 2012. godini predstavljen sustav za automatizaciju praćenja napretka građenja koji spaja 4D modeliranje i lasersko skeniranje s podacima prikupljenim na gradilištu (17). Dotadašnje metode ažuriranja temeljile su se na ručnome unošenju podataka u plan, što je u velikoj mjeri prisutno i danas. U radu (18) je predstavljen sustav za automatizaciju ažuriranja planova pomoću podataka iz 4D BIM modela kombiniranih s 3D oblakom točaka snimljenim na gradilištu te je sustav testiran na jednostavnoj betonskoj građevini, a sličan je primjer prikazan i u radu (19). 4D BIM model korišten je i u radu (20) u kojem su podatci o napretku elemenata inkorporirani u BIM model te su elementi obojeni ovisno o njihovu očekivanom i stvarnom napretku. Također su ažurirana i trajanja aktivnosti te datumi završetka aktivnosti.

2. Digitalna tehnologija prepoznavanja objekata

Posljednjih godina počinju se istraživati mogućnosti primjene umjetne inteligencije u monitoringu građevinskoga projekta te se pojavljuju i prvi primjeri njezine primjene. Integracija umjetne inteligencije s tradicionalnim tehnikama monitoringa može pridonijeti povećanju učinkovitosti, uštedi i sigurnosti u projektu. U ovome radu naglasak je na tehnologiji prepoznavanja objekata te njezinoj primjeni u monitoringu projekta, stoga će se u ovome poglavlju promatrati dostupni modeli za prepoznavanje objekata te primjena prepoznavanja objekata u građevinarstvu.

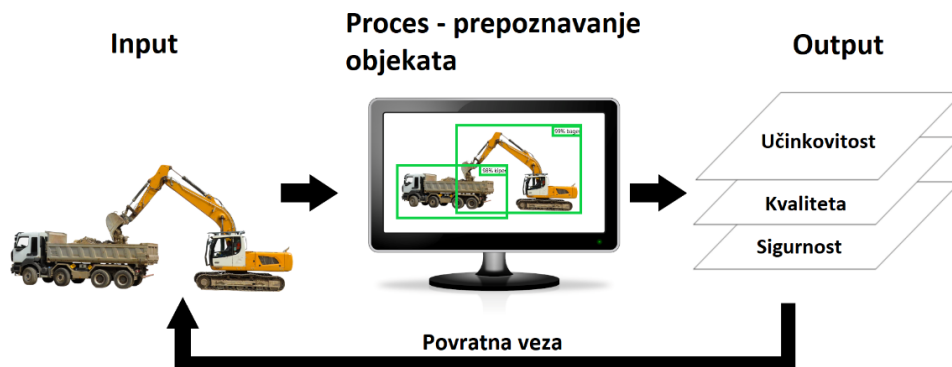
2.1. Dostupni modeli za prepoznavanje objekata

Digitalna tehnologija prepoznavanja objekata posljednjih je godina privukla veliku pozornost s obzirom na široke mogućnosti primjene u sigurnosnome nadzoru, autonomnoj vožnji, analizi snimaka drona, robotskome vidu te raznim oblicima monitoringa. Zbog toga je prepoznavanje objekata tema akademskih i svakodnevnih istraživanja. Može se reći kako je prepoznavanje objekata digitalnom tehnologijom u svezi s računalnim vidom i procesiranjem fotografija koje se bavi prepoznavanjem objekata određene klase iz slike ili videa kao što su ljudi, životinje, predmeti i slično (16). Ta se tehnologija počela osobito intenzivno razvijati pojavom dubokih neuronskih mreža (*deep neural networks*) te dubokoga učenja (*deep learning*) jer oni omogućavaju automatizirano učenje raznih značajki. Trenutačno se modeli korišteni za prepoznavanje objekata na temelju dubokoga učenja mogu podijeliti na modele temeljene na područjima (regijama) i modele temeljene na regresiji (17). Modeli temeljeni na područjima (regijama) istovremeno prepoznaju granice objekata i ocjenu točnosti objekta, dok modeli temeljeni na regresiji dijele kartu značajki koristeći određena pravila i uspostavljaju odnose između predviđenih graničnih okvira, zadanih graničnih okvira i temeljnih podataka za učenje. Primjeri modela temeljenih na područjima (regijama) su modeli *R-CNN* (*Regions with CNN*), *SPP-net* (*Spatial Pyramid Pooling Networks*), *Fast R-CNN*, *Faster R-CNN* i *R-FCN* (*Region-based Fully Convolutional Networks*), dok su primjeri modela temeljenih na regresiji modeli *YOLO* (*You Only Look Once*) i *SSD* (*Single Shot Multibox Detector*) te su oni obično djelotvorniji prilikom prepoznavanja u stvarnome vremenu.

2.2. Primjena prepoznavanja objekata u građevinarstvu

Digitalna tehnologija prepoznavanja objekata našla je svoju primjenu i u mnogim segmentima građevinarstva. U radu (18) je prikazana metoda temeljena na dubokome učenju gdje se algoritmima prepoznaju lica radnika na gradilištu radi provjere njihove certificiranosti za obavljanje određenoga posla, čime se bitno povećava sigurnost na gradilištu. S obzirom na to da su kacige vrlo važan čimbenik u sigurnosti radnika na gradilištu, a velik broj radnika često ih zanemaruje, u radu (19) je predstavljena *Faster R-CNN* metoda za detektiranje kaciga. Korišteno je više od stotinu tisuća nasumično odabranih fotografija radnika s nadzornih kamera 25 različitih gradilišta koje su se prikupljale više od godinu dana. Vrlo sličan primjer prikazan je u radu (20) gdje je predstavljen sustav temeljen na konvolucijskim neuronskim mrežama za automatski monitoring nošenja zaštitnih kaciga te identificiranja pripadajućih boja. U radu (21) je predstavljena metoda prepoznavanja zaštitnih prsluka i zaštitnih kaciga radnika, dok je u radu (22) predstavljena metoda praćenja kretanja više radnika odjednom na gradilištu s mogućnošću predviđanja njihova kretanja. Osim prepoznavanja i praćenja radnika

razvijena je i metoda prepoznavanja strojeva na gradilištu pomoću SSD modela (23). Kao bitni primjeri u građevinarstvu mogu se još navesti i prepoznavanje konstrukcijskih dijelova pomoću metode dubokoga učenja (24) te digitalna tehnologija prepoznavanja oštećenja kolnika (25). Na Slici 1 prikazan je proces digitalne tehnologije prepoznavanja objekata. *Input* je snimka gradilišta odnosno to su strojevi ili elementi na gradilištu, zatim slijedi obrada podataka odnosno prepoznavanje objekata te naposljetku *output* odnosno povećanje učinkovitosti, kvalitete i sigurnosti u projektu.



Slika 1. Prikaz procesa digitalne tehnologije prepoznavanja objekata

3. Zaključak

Monitoring je neophodan korak u životnome ciklusu svakoga građevinskog projekta. Pravovremenim i kvalitetnim monitoringom povećava se sigurnost na gradilištu, poboljšava se učinkovitost, omogućuje se pravovremeno rješavanje problema te se često smanjuju troškovi i trajanje projekta. Nove tehnologije omogućile su automatizaciju monitoringa gradilišta čime se smanjuje potreba odlaska inženjera na gradilište, a u pojedinim slučajevima omogućava se i automatizirano djelovanje sustava u svezi s problemima na gradilištu. Osim automatizacije samoga monitoringa, novim je tehnologijama omogućeno i automatizirano ažuriranje vremenskih planova, čime se povećava kvaliteta samoga projekta te su u svakome trenutku dostupni ažurirani podaci o stanju izvršenosti pojedinih elemenata i planiranome roku završetka projekta. Primjenom tehnike prepoznavanja objekata pri monitoringu gradilišta povećava se kvaliteta samoga monitoringa te je sustav sve više samostalan i automatiziran. Tako je moguće bitno povećanje učinkovitosti projekta i aspekata sigurnosti i kvalitete.

Literatura

- [1] Orešković M. Monitoring graditeljskog projekta. *Građevinar*. 2019;71(11.):965-73.
- [2] J Skibniewski M. Construction Project Monitoring with Site Photographs and 4D Project Models. *Organization, technology & management in construction: an international journal*. 2014;6(3):0-
- [3] Alizadehsalehi S, Yitmen I. A concept for automated construction progress monitoring: technologies adoption for benchmarking project performance control. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2019;44(5):4993-5008.
- [4] Navon R, Goldschmidt E. Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies. *Automation in construction*. 2003;12(2):185-99.
- [5] Navon R, Sacks R. Assessing research issues in automated project performance control (APPC). *Automation in construction*. 2007;16(4):474-84.

- [6] Dawood N, Akinsola A, Hobbs B. Development of automated communication of system for managing site information using internet technology. *Automation in construction*. 2002;11(5):557-72.
- [7] Sacks R, Navon R, Goldschmidt E. Building project model support for automated labor monitoring. *Journal of computing in civil engineering*. 2003;17(1):19-27.
- [8] Abeid J, Allouche E, Arditi D, Hayman M. PHOTO-NET II: a computer-based monitoring system applied to project management. *Automation in construction*. 2003;12(5):603-16.
- [9] Navon R, Kolton O. Model for automated monitoring of fall hazards in building construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2006;132(7):733-40.
- [10] Jang WS, Skibniewski MJ. A wireless network system for automated tracking of construction materials on project sites. *Journal of civil engineering and management*. 2008;14(1):11-9.
- [11] Son H, Kim C. 3D structural component recognition and modeling method using color and 3D data for construction progress monitoring. *Automation in Construction*. 2010;19(7):844-54.
- [12] Cheng T, Teizer J. Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. *Automation in construction*. 2013;34:3-15.
- [13] Kang H, Sung S, Hong J, Jung S, Hong T, Park HS, et al. Development of a real-time automated monitoring system for managing the hazardous environmental pollutants at the construction site. *Journal of Hazardous Materials*. 2021;402:123483.
- [14] Kielhauser C, Renteria Manzano R, Hoffman JJ, Adey BT. Automated Construction Progress and Quality Monitoring for Commercial Buildings with Unmanned Aerial Systems: An Application Study from Switzerland. *Infrastructures*. 2020;5(11):98.
- [15] Asadi K, Suresh AK, Ender A, Gotad S, Maniyar S, Anand S, et al. An integrated UGV-UAV system for construction site data collection. *Automation in Construction*. 2020;112:103068.
- [16] Jiao L, Zhang F, Liu F, Yang S, Li L, Feng Z, et al. A survey of deep learning-based object detection. *IEEE Access*. 2019;7:128837-68.
- [17] Tang C, Ling Y, Yang X, Jin W, Zheng C. Multi-view object detection based on deep learning. *Applied Sciences*. 2018;8(9):1423.
- [18] Fang Q, Li H, Luo X, Ding L, Rose TM, An W, et al. A deep learning-based method for detecting non-certified work on construction sites. *Advanced Engineering Informatics*. 2018;35:56-68.
- [19] Fang Q, Li H, Luo X, Ding L, Luo H, Rose TM, et al. Detecting non-hardhat-use by a deep learning method from far-field surveillance videos. *Automation in Construction*. 2018;85:1-9.
- [20] Wu J, Cai N, Chen W, Wang H, Wang G. Automatic detection of hardhats worn by construction personnel: A deep learning approach and benchmark dataset. *Automation in Construction*. 2019;106:102894.
- [21] Zhao Y, Chen Q, Cao W, Yang J, Xiong J, Gui G. Deep learning for risk detection and trajectory tracking at construction sites. *IEEE Access*. 2019;7:30905-12.
- [22] Angah O, Chen AY. Tracking multiple construction workers through deep learning and the gradient based method with re-matching based on multi-object tracking accuracy. *Automation in Construction*. 2020;119:103308.
- [23] Arabi S, Haghighat A, Sharma A. A deep-learning-based computer vision solution for construction vehicle detection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2020;35(7):753-67.
- [24] Hou X, Zeng Y, Xue J. Detecting Structural Components of Building Engineering Based on Deep-Learning Method. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2020;146(2):04019097.
- [25] Kim N, Kim K, An Y-K, Lee H-J, Lee J-J. Deep learning-based underground object detection for urban road pavement. *International Journal of Pavement Engineering*. 2020;21(13):1638-50.