

APLIKACIJA E-PEDIUS ZA PODPORO MNOŽIČNEMU SESTAVLJANJU FRAGMENTOV STENSKIH POSLIKAV

Tea Tušar¹, Bogdan Filipič¹, Erik Dovgan¹, Blaž Mahnič¹, Gregor Čepin^{1,2},
Jelka Kuret³, Petra Benedik³, Asparuh Mihailov³, Gregor Berginc⁴, Daniel Vladušič⁴

¹Odsek za inteligentne sisteme, Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

²Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

³Restavratorski center, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Poljanska 40, 1000 Ljubljana

⁴XLAB d.o.o., Pot za Brdom 100, 1000 Ljubljana

E-pošta: tea.tusar@ijs.si

POVZETEK

Restavriranje stenskih poslikav iz ometnih fragmentov je zaradi velikega števila fragmentov, njihovih poškodb in manjkajočih delov težavno in zahteva leta ročnega dela strokovnjakov. Pomemben del tega postopka lahko pohitimo z vključevanjem množice nestrokovnjakov, saj je sestavljanje fragmentov v prvotno poslikavo podobno igri sestavljanja sestavljank. V prispevku predstavljamo spletno in mobilno aplikacijo e-Pedius, ki je kot igra sestavljanja fragmentov dostopna množici uporabnikov in jim poleg sestavljanja fragmentov v nove postavitve omogoča tudi nadaljevanje postavitev drugih uporabnikov in njihovo ocenjevanje.

1. UVOD

Poslanstvo Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS) je ohranjanje slovenske kulturne dediščine, kar med drugim obsega tudi rekonstrukcijo umetnin, ki so bile uničene zaradi časovnega propadanja, nesreč ali katastrof (potresi in vojne). Na arheoloških najdiščih pogosto najdemo stenske poslikave, ki so pomembni elementi kulturne dediščine, a so večinoma fragmentirane in potrebujejo temeljito obnovo. Restavriranje stenskih poslikav iz ometnih fragmentov je zaradi njihovega velikega števila (tudi več tisoč), različnih oblik in velikosti ter poškodb in manjkajočih fragmentov zelo težavno in zahteva leta ročnega dela strokovnjakov.

Postopek restavriranja fragmentiranih stenskih poslikav obsega naslednje faze:

- odstranjevanje nečistoč in recentnih plasti s fragmentov,
- utrjevanje barvne plasti,
- morebitno preventivno obšivanje ali kitanje kritičnih mest,
- utrjevanje prhkkih nosilnih ometov,
- sestavljanje fragmentov v prvotno poslikavo v peskovniku,
- nanos zaščitne armature v treh plasteh na lice poslikave,
- odstranjevanje odvečnega ometa s hrbitišča,
- priprava sredstva za armiranje hrbitišča,

- izdelava večplastne armature hrbitišča,
- odstranjevanje zaščitne armature z lica poslikave,
- izdelava nosilca in montaža poslikave na nosilec,
- oblikovanje dekorativnega ometa, kitanje poškodb in prilagajanje kita strukturi površine poslikave,
- tonsko podlaganje in barvno povezovanje poškodovanih mest ter
- retuširanje.

Medtem ko je za večino teh faz neizbežno rokovanje s fizičnimi fragmenti, se lahko faza sestavljanja fragmentov v prvotno poslikavo izvede najprej elektronsko, z digitalnimi slikami fragmentov. Šele ko na ta način najdemo zadovoljivo elektronsko postavitev, fizične fragmente sestavimo skupaj v peskovniku.

Razvili smo dve računalniški aplikaciji, ki podpirata elektronsko sestavljanje fragmentov in tako bistveno pohitita postopek restavriranja stenskih poslikav. Računalniška aplikacija *Pedius* restavratorjem omogoča digitalizacijo, evidentiranje in pomoč pri sestavljanju fragmentov v prvotno stensko poslikavo [6, 4], medtem ko je spletna in mobilna aplikacija *e-Pedius* zasnovana kot igra, ki sestavljanje fragmentov prepušča množici [3, 2].

V nadaljevanju prispevka se posvečamo le najnovejši aplikaciji e-Pedius. Naslednji razdelek na kratko predstavi dva druga dobro znana primera uporabe množičnega izvajanja, medtem ko 3. razdelek podrobneje opiše vse tri glavne dele aplikacije e-Pedius: sestavljanje, ocenjevanje in profil uporabnika. Prispevek se zaključuje s sklepom v 4. razdelku.

2. MNOŽIČNO IZVAJANJE

Izvajanje nekega opravila s strani množice nestrokovnjakov namesto (maloštevilnih in preobremenjenih) strokovnjakov je v računalništvu vedno pogosteje uporabljano; pravimo mu *množično izvajanje* (angl. crowdsourcing). Izmed njegovih številnih primerov praktične uporabe podajamo dva, ki sta posebej razširjena in zanimiva.

Google-ova storitev reCAPTCHA [7, 8] uporablja množično izvajanje za digitalizacijo starih knjig. Uporabniki spleta morajo včasih zato, da dobijo dostop do določene sple-

tne strani, vtipkati besede, ki jih prikazuje slika. Storitve reCAPTCHA za to uporablja skenirane besede iz knjig, ki jih programska oprema za prepoznavanje znakov ni razpoznala. Ko več uporabnikov isto skenirano besedo pretipka v isto besedo, se šteje, da je bila beseda pravilno prepoznana. Na ta način so spletni uporabniki pomagali digitalizirati že številne stare knjige, njihovo število pa se veča vsak dan.

Aplikacija Foldit [5, 1] Univerze v Washingtonu uporablja množično izvajanje za napovedovanje strukture proteinov, ki ima za cilj ustvariti točne modele strukture proteinov. Aplikacija vsebuje tradicionalne računalniške algoritme, ki se uporabijo za iskanje začetnih struktur proteinov. Nato nestrokovnjaki preoblikujejo te strukture tako, da se kakovost modela poveča. Foldit je implementiran kot računalniška igra, ki spodbuja tako tekmovanje kot sodelovanje med uporabniki. Foldit oz. prispevek njegovih uporabnikov je omogočil že nekaj odmevnih prebojnih odkritij na tem področju.

Tudi v primeru sestavljanja fragmentov stenskih poslikav ima množično izvajanje potencial, da poleg nudenja razvedrila uporabnikom (namesto navadnih sestavljanjk sestavljajo slike fragmentov) poskrbi za napredek – v našem primeru napredek pri restavriranju kulturne dediščine.

3. APLIKACIJA E-PEDIUS

Mobilna in spletna aplikacija e-Pedius, poimenovana po rimskem slikarju Quintusu Pediusu, je dostopna vsem zainteresiranim uporabnikom tabličnih, prenosnih in namiznih računalnikov in tudi nestrokovnjakom omogoča sestavljanje fragmentov v nove postavitev, nadaljevanje sestavljanja obstoječih postavitev in ocenjevanje postavitev. Zasnovana je kot mobilna igra, pri kateri se točkjuje prizadevnost uporabnikov, vodi lestvica najboljših in spodbuja sodelovanje med uporabniki.

Trenutno aplikacija vsebuje dva projekta sestavljanja, ki sta nadalje razdeljena na več posameznih nalog sestavljanja. Prvi projekt imenovan “Štirje letni časi” je testni primer, za katerega poznamo prave postavitve fragmentov, saj smo poslikave digitalno fragmentirali samo za ta namen. Drugi projekt imenovan “Turška mačka” pa je pravi, zelo obsežen in zahteven projekt s številnimi nalogami sestavljanja.

Projekt “Štirje letni časi” Štirje poslikani medaljoni so bili odkriti leta 1985 na stopnišču stanovanjske hiše v Ulici Moše Pijadeja 34 (sedaj Kolodvorska) v Ljubljani, ki je bila predvidena za rušenje. Izpod beležev odkrite stenske poslikave v tehniki olja so bile del dekoracije kasetiranega stopnišča. Vsi štirje medaljoni so bili sneti ter očiščeni beležev in nečistoč, barvna plast je bila utrjena. Odkriti prizori predstavljajo upodobitev štirih letnih časov. Vsak od medaljonov predstavlja svojo nalogo sestavljanja.

Projekt “Turška mačka” Projekt “Turška mačka” je dobil ime po starem gostišču v Celju, pod katerim so leta 1978 odkrili bogato arheološko najdišče iz rimskih časov. Najden bivalni prostor je nastal v prvem stoletju našega štetja in je

hkrati del rimskega mesta Celeia. V podolgovatem prostoru velikosti 13×4 m, ki je bil ogrevan s hipokavstom, je bil tlak okrašen s črno-belimi mozaikom z enostavnim vzorcem rozet, stene pa so bile bogato okrašene s freskami. Fragmenti so različnih barv (npr. bela, rdeča, zelena, modra, črna in rumena), nekateri vsebujejo motive, kot so živali in rože, razločimo lahko številne različne vzorce. Tudi ometne plasti se med seboj razlikujejo tako po sestavi kot po debelini. Izkopani fragmenti se sedaj nahajajo v Restavratorskem centru ZVKDS v Ljubljani, kjer so že pred leti šli skozi prve faze restavriranja fragmentov. Zaenkrat meri rekonstruirana površina trikrat po približno 200 cm v dolžino in od 30 do 90 cm v širino. Ostalo je še 9521 fragmentov, shranjenih v 166 zaboječkih. Glede na obseg in izredno kakovost poslikave, ki je redka za območje Slovenije, so se odločili, da bi bil smiseln poskus rekonstrukcije preostalih fragmentov in njihova predstavitev.

Fragmenti projekta “Turška mačka” so tako vzorčasti (takšni, ki vsebujejo vzorce, črte ali kombinacije barv) kot enobarvni. Zaradi velikega števila vseh fragmentov je bilo potrebno sestavljanje razdeliti na več manjših nalog. Strokovnjaki so določili več kot 80 nalog sestavljanja na podlagi vzorčastih fragmentov, medtem ko se za preostalih (več kot 5000) enobarvnih fragmentov ne ve točno, h kateri nalogi sodijo. Zato je aplikacija e-Pedius zasnovana tako, da lahko uporabnik h katerikoli nalogi doda poljubno število barvno ustreznih enobarvnih fragmentov.

V nadaljevanju opisujemo tri glavne funkcionalnosti aplikacije e-Pedius: sestavljanje in ocenjevanje postavitev ter vpogled v profil uporabnika.

3.1. Sestavljanje

Glavna funkcionalnost aplikacije je sestavljanje fragmentov v nove postavitve. Da lahko začne sestavljati, mora uporabnik najprej izbrati projekt in nalogo sestavljanja ter postavitev, s katero bo začel. Na izbiro ima:

- začeti na novo (s prazno postavitevijo),
- nadaljevati katero izmed svojih preteklih postavitev in
- nadaljevati postavitve drugih uporabnikov.

Nadaljevanje postavitev drugih uporabnikov je omogočeno zato, da bi lahko več uporabnikov z medsebojnim sodelovanjem skupaj našlo boljše rešitve kot vsak posebej.

Ko je začetna postavitev izbrana, se uporabniku prikaže zaslonska slika za sestavljanje (glej primer na sliki 1), sestavljen iz platna (glavni sredinski del), levega in desnega žepa ter spodnjega menija. Ker naloge sestavljanja lahko vsebujejo več skupin vzorčastih fragmentov, je levi žep namenjen izbiri takšne skupine fragmentov. Če želi uporabnik k nalogi dodati še enobarvne fragmente¹, se tudi skupine enobarvnih fragmentov prikažejo v levem žepu. Posamezni fragmenti izbrane skupine se pokažejo v desnem žepu.

Uporabnik fragmente iz desnega žepa lahko premakne na platno in jih tam premika in vrta. Dodatne funkcionalnosti na fragmentih, kot so na primer združevanje in razdruževanje

¹Za več informacij o postopku iskanja podobnih enobarvnih fragmentov glej [2].

fragmentov ter brisanje fragmentov s platna, so mu na voljo preko spodnjega menija. Poleg tega uporabnik lahko približuje in oddaljuje pogled na platno, razveljavlja in ponovno uveljavlja zadnje spremembe, spreminja barvo platna ipd. Ko uporabnik doseže postavitev, s katero je zadovoljen, jo lahko pošlje v ocenjevanje.

3.2. Ocenjevanje

Da lahko razlikujemo med dobrimi in slabimi postavitvami, jih moramo oceniti. Odločili smo se za ocene v obliki od ene (slaba postavitev) do pet zvezdic (dobra postavitev). V testnem projektu “Štirje letni časi” si uporabniki pri ocenjevanju lahko pomagajo s poznanimi pravnimi postavitvami, medtem ko v projektu “Turška mačka” to ni mogoče. Zato smo za vsak projekt razvili svoj način ocenjevanja.

V projektu “Štirje letni časi” se ocenjevanje izvede avtomatsko. Vsakič, ko uporabnik postavitev pošlje v ocenjevanje, se ta postavitev primerja s pravilno. Bolj kot ji je podobna, boljše oceno dobi.

V projektu “Turška mačka” vsako postavitev oceni n drugih uporabnikov. Končna ocena se izračuna glede na povprečje teh ocen. Ker želimo uporabnike spodbuditi k čim bolj korektnemu ocenjevanju postavitev drugih uporabnikov, smo vsakemu uporabniku pripisali *karmo*, ki je sorazmerna s kakovostjo njegovega ocenjevanja. Karma uporabnika se povečuje, ko se njegove ocene skladajo z ocenami drugih uporabnikov, in zmanjšuje v obratnem primeru. Od karme uporabnikov je odvisna tudi vrednost n – število uporabnikov, ki morajo oceniti postavitev. Če so neko postavitev ocenili uporabniki z nizko karmo, n za to postavitev povečamo. Slika 2 prikazuje zaslon za ocenjevanje postavitev drugih uporabnikov. Če uporabnik neke postavitve ne želi oceniti, jo lahko preskoči. Ker postavitve ocenjujejo drugi uporabniki, ocenjevanje v tem projektu ni končano v trenutku (kot v projektu “Štirje letni časi”).

Ocenjevanje postavitve upošteva samo “pravilnost” postavitev, ne pa tudi števila fragmentov. Ker želimo preko aplikacije e-Pedius pridobiti čim boljše postavitve za obsežne naloge sestavljanja projekta “Turška mačka”, število fragmentov v postavitvi upošteva pri končnem točkovanju postavitve:

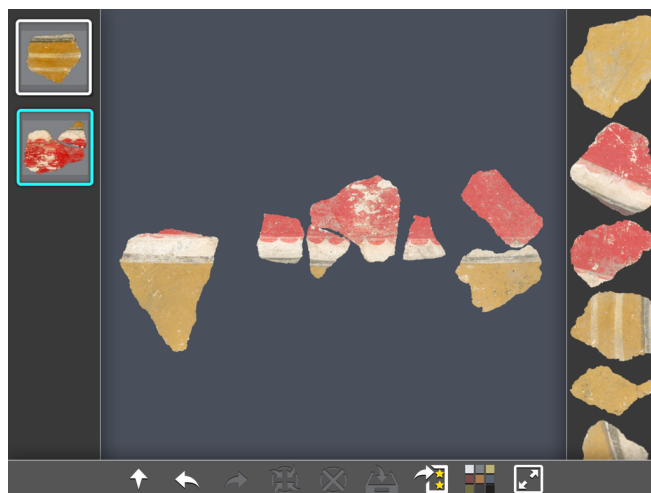
$$\text{število točk} = \text{povprečna ocena} \times \text{število fragmentov}$$

Če je uporabnik nadaljeval postavitev drugega uporabnika, se v zgornji formuli upošteva samo število fragmentov, ki so bili na novo dodani k postavitvi.

Uporabnik lahko sestavi več postavitev za vsako nalogo. K skupnemu številu točk se šteje le najboljše točkovana postavitev za vsako nalogo. Uporabnik se z drugimi uporabniki lahko primerja na lestvici, kjer so skupaj zbrane točke za oba projekta.

3.3. Profil uporabnika

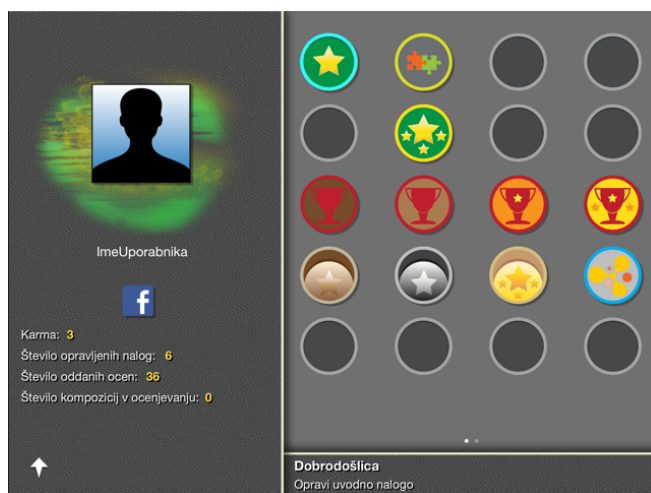
Profil uporabnika na enem mestu združuje informacije o uporabniku in njegovi uspešnosti pri sestavljanju in ocenjevanju



Slika 1: Sestavljanje fragmentov



Slika 2: Ocenjevanje postavitev drugih uporabnikov



Slika 3: Profil uporabnika z doseženimi značkami

postavitev (slika 3). Omogoča mu tudi spreminjanje vzdevka in prijavo v aplikacijo preko računov za Google ali Facebook. Brez prijave lahko uporabnik uporablja vse funkcionalnosti aplikacije, a svojega uporabniškega profila ne more prenašati med napravami.

Na prikazu profila uporabnika so navedene naslednje informacije:

- karma,
- število opravljenih nalog,
- število oddanih ocen in
- število postavitev v ocenjevanju.

Na desni strani zaslona uporabnik lahko vidi bodisi osvojene značke bodisi lestvico vseh uporabnikov glede na skupno število doseženih točk in svoje mesto na njej. Aplikacija omogoča osvojitve 20 značk, ki uporabnika spodbujajo k sestavljanju in ocenjevanju postavitev:

- dobrodošlica (ko opravi uvodno nalogo),
- pridna mravljica 1/2/3/4 (ko opravi 5/10/50/100 nalog),
- začetnik/navdušenec/poznavalec (ko doseže 100/300/500 točk v eni postavitvi),
- ostro oko 1/2/3/4 (ko je 1/5/10/20 postavitev ocenjenih s petimi zvezdicami),
- zlata/srebrna/bronasta medalja (ko na lestvici doseže 5./20./50. mesto),
- nesebičnež 1/2/3 (ko oceni 5/50/500 postavitev drugih uporabnikov),
- super restavrator (ko opravi vse naloge projekta “Turška mačka”) in
- nirvana (ko doseže najvišjo možno karmo).

4. SKLEP

V prispevku smo predstavili aplikacijo e-Pedius, ki postopek sestavljanja fragmentov stenskih poslikav približuje množicam. Uporabniki lahko z aplikacijo sestavljajo fragmente v nove postavitve, nadaljujejo postavitve drugih uporabnikov in sodelujejo tudi pri ocenjevanju postavitev. Svoj napredek lahko spremljajo preko lestvice točk in doseženih značk. Poleg nudenja zabave uporabnikom ima aplikacija e-Pedius tudi praktično uporabno vrednost, saj bodo lahko restavratorji tako dobljene najboljše postavitve uporabili za osnovo pri fizični rekonstrukciji danih poslikav.

V prihodnosti želimo v aplikacijo dodati tudi druge projekte sestavljanja, ki bodo istega tipa kot projekt “Turška mačka”. To pomeni, da pravilne postavitve fragmentov ne bodo znane in bomo množično izvajanje uporabili za pomoč pri restavriranju poslikav tudi v teh projektih.

Bralce vabimo k sodelovanju pri množičnem sestavljanju fragmentov stenskih poslikav – aplikacija e-Pedius je na voljo na <http://e-pedius.si>.

Zahvala

Opisano delo je bilo opravljeno v okviru projekta e-Pedius, izbranega na javnem razpisu za sofinanciranje projektov razvoja e-storitev in mobilnih aplikacij za javne in zasebne ne-profitne organizacije 2012–2013. Projekt so sofinancirali Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Evropska unija, Evropski sklad za regionalni razvoj, Institut “Jožef Stefan” in Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije.

Literatura:

- [1] S. Cooper, F. Khatib, A. Treuille, J. Barbero, J. Lee, M. Beenen, A. Leaver-Fay, D. Baker, Z. Popović in Foldit players. Predicting protein structures with a multiplayer online game. *Nature*, let. 466, št. 7307, str. 756–760, 2010.
- [2] G. Čepin, T. Tušar in B. Filipič. Iskanje podobnih enobarvnih fragmentov pri množičnem sestavljanju stenskih poslikav. *Zbornik dvaindvajsete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2013*, zv. B, str. 73–76, 2013.
- [3] e-Pedius, Podpora množičnemu sestavljanju fragmentov stenskih poslikav, 2013. URL <http://e-pedius.si>. Pridobljeno 1. 9. 2013.
- [4] B. Filipič, M. Mlakar, E. Dovgan in T. Tušar. Razvoj sistema za računalniško podprto evidentiranje in sestavljanje fragmentov stenskih poslikav. *Zbornik 14. mednarodne multikonference Informacijska družba IS 2011*, zv. A, str. 45–48, 2011.
- [5] Foldit, Solve puzzles for science. URL <http://fold.it/portal/>. Pridobljeno 1. 9. 2013.
- [6] Pedius, Sistem za evidentiranje in sestavljanje fragmentov stenskih poslikav, 2011. URL <http://dis.ijs.si/ci/pedius/index.html>. Pridobljeno 1. 9. 2013.
- [7] reCAPTCHA, a free anti-bot service that helps digitizing books. URL <http://www.google.com/recaptcha>. Pridobljeno 1. 9. 2013.
- [8] L. von Ahn, B. Maurer, C. McMillen, D. Abraham in M. Blum. reCAPTCHA: Human-based character recognition via web security measures. *Science*, let. 321, št. 5895, str. 1465–1468, 2008.